

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y  
ALIMENTOS

**TESIS PROFESIONAL**

**CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN  
EXTRAÍDO DEL COTILEDÓN DE  
TRES VARIEDADES DE *Mangifera  
indica* L**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN AGROALIMENTOS**

PRESENTA

**MAXIMILIANO MOLINA VAZQUEZ**

DIRECTOR

**M.C. MARIO ALBERTO MORALES OVANDO**

ASESOR EXTERNO

**DR. JUAN MANUEL TIRADO GALLEGOS**



Villa de Acapetahua, Chiapas

Octubre 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por bendecirnos con la dicha de la vida, por haberme dado la sabiduría y el entendimiento para poder llegar al final de la carrera.

A mis padres Edgar Molina Morales y Patricia Vazquez Sánchez que, con su enorme esfuerzo, sacrificio y el apoyo incondicional que me brindaron en los momentos difíciles, hoy cumpla una etapa más de mi vida profesional, muchas gracias.

A mis maestros por su paciencia y las enseñanzas brindadas a lo largo de estos cuatro años.

A mi director de tesis el M.C. Mario Alberto Morales Ovando por todo el apoyo brindado, a mi asesor externo Dr. Juan Manuel Tirado Gallegos.

A mi novia Amayrani Sargento Morales por todo el apoyo durante la carrera, las risas, los enojos, los buenos y malos momentos, gracias.

A mis hermanas, Erika Fernanda Molina Vazquez y Adamarys Molina Vazquez que con sus ocurrencias me hicieron los días más agradables.

A mis compañeros y amigos, por brindarme su amistad y por los inolvidables momentos de alegría.

***Maximiliano Molina Vazquez***



**Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas**  
**Dirección de Servicios Escolares**  
**Departamento de Certificación Escolar**  
Autorización de impresión



Lugar: Villa de Acapetahua, Chiapas  
Fecha: 23 de Septiembre 2019

C. Maximiliano Molina Vazquez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Agroalimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
Caracterización de Almidón extraído del cotiledón de tres variedades de *Mangifera indica* L.

---

---

---

En la modalidad de: Tesis profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

**Revisores**

Ing. Cristian Árevalo Pérez

Mtra. Edelmi Tadeo Coronel

M.C. Mario Alberto Morales Ovando

**Firmas:**


Ccp. Expediente

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
MARCO TEÓRICO.....	6
Antecedentes.....	6
Origen y distribución del mango.....	9
Posición taxonómica del mango.....	10
Producción de mango en México.....	10
Producción de mango en la región del Soconusco.....	10
Composición física del mango.....	11
Desechos del procesamiento del mango.....	12
Harina de cotiledón de mango.....	13
El almidón.....	13
Métodos para la extracción de almidón.....	14
Usos y aplicaciones del almidón.....	15
Principales fuentes del almidón.....	16
Importancia del almidón en la industria alimentaria.....	16
Factores que determinan la utilización del almidón.....	17
Alternativas de uso en diferentes productos comerciales.....	17
Importancia del tamaño de los gránulos de almidón.....	18
Análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB).....	18
La espectroscopia de infrarrojo y los alimentos.....	19
Películas elaboradas con almidones de fuentes no convencionales.....	19
Importancia de los recubrimientos comestibles en frutas.....	20
Importancia de la evaluación de color.....	20
Importancia de los aceites comestibles.....	20
HIPÓTESIS.....	22

METODOLOGÍA.....	23
Diseño de la investigación.....	23
Población.....	23
Muestra.....	24
Muestreo.....	24
Variables.....	24
Instrumentos de medición.....	24
Descripción de técnicas utilizadas.....	25
Descripción de análisis estadístico.....	31
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
a) Composición fisicoquímica de los almidones extraídos de los cotiledones de <i>M. indica</i> L var. Manililla, Piña y Tommy Atkins.....	32
b) Tamaño de los gránulos del almidón de los cotiledones de <i>M. indica</i> L por Microscopía Electrónica de Barrido.....	33
c) Propiedades térmicas de almidones de tres variedades de mango por el método Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) y propiedades estructurales por el método de Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF).....	35
d) Color de biopelículas de los almidones mediante el empleo de un colorímetro.....	37
e) Perfil de ácidos grasos presente en el aceite extraído de los cotiledones de <i>M. indica</i> L mediante cromatografía de gases.....	38
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	42
GLOSARIO.....	43
REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología del fruto de mango.....	11
Figura 2. Micrografía electrónica de gránulos de almidón de la almendra de mango variedad Alphonso.....	18
Figura 3. Área de estudio, Acapetahua Chiapas .....	23
Figura 4. Micrografías de almidón de cotiledón de <i>M. indica</i> L; a y b Mango Manililla; c y d Mango Piña; e y f Mango Tommy Atkins.....	34
Figura 5. EITF de almidones de las tres variedades de mango.....	37
Figura 6. Perfil de ácidos grasos obtenido de la grasa de cotiledón de tres variedades de almidón de mango.....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición física de mangos nayaritas.....	12
Tabla 2. Características físicas de diferentes variedades de mango. ....	12
Tabla 3. Análisis proximal de la harina de <i>M. indica</i> L. ....	13
Tabla 4. Rendimiento de la extracción de almidón de cotiledón de mango tipo Hilacha. ....	15
Tabla 5. Composición química y física del almidón del cotiledón del mango Hilacha.....	15
Tabla 6. Composición fisicoquímica del almidón de tres variedades de <i>M. indica</i> L.....	32
Tabla 7. Temperaturas y entalpía de gelatinización de los almidones aislados de cotiledón de tres variedades de mango. ....	35
Tabla 8. Colorimetría de biopelículas de almidón de tres variedades de mango. ....	38

## INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) menciona, que el cultivo de mango se encuentra ampliamente distribuido en el estado de Chiapas, sin embargo en la región istmo-costa y Soconusco es donde se encuentra su principal zona productora y exportadora, se estima que aproximadamente 12,000 toneladas de la producción total del mango son conocidas como desecho, debido a que durante la temporada de producción gran parte del mango que no cumple con las características de comercialización (tamaño y forma) es madurado en el árbol hasta caer al suelo de las parcelas, generando una acumulación de desechos que puede promover la proliferación de fauna nociva, debido a que no se le da un uso redituable a tales desechos. La obtención de almidón y grasa a partir del cotiledón de la semilla del mango, son alternativas que permitirán dar un valor agregado a estos desechos y, sus productos podrían tener un gran potencial de aplicación en la industria alimenticia.

La harina obtenida de la almendra de la semilla de mango exhibe propiedades funcionales de interés para la industria de los alimentos, tales como capacidad de absorción de agua y lípidos, capacidad y estabilidad emulsificante. Adicionalmente, la almendra puede ser una fuente de grasa cruda, lo que la convierte en un subproducto que puede valorizarse disminuyendo así la acumulación de residuos agroindustriales, lo que supondría un ingreso extra para los procesadores de pulpa de mango. Los almidones son el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional, por lo cual pueden ser incluidos en sistemas alimenticios como espesantes, estabilizantes y gelificantes en alimentos refrigerados y congelados (Chaparro-Acuña *et al.*, 2015; Hernández-Medina *et al.*, 2008).

La presente investigación se rige bajo el paradigma de investigación cuantitativa porque se recolectaron datos numéricos para probar hipótesis. El tipo de investigación es descriptivo ya que comprende el registro y la interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos (Tamayo-Tamayo, 2003). Se hizo una descripción detallada de la caracterización fisicoquímica, tamaño de gránulos, propiedades térmicas y estructurales, color de biopelículas y perfil de ácidos grasos del almidón de cotiledón de mango; lo cual permitirá llevar a cabo una interpretación correcta de los resultados y comparación con otros autores. Para determinar si estos reúnen características que pudieran permitir su aplicación en alimentos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes, en el análisis fisicoquímico el almidón que presentó



un mayor contenido de lípidos fue la var. Tommy Atkins (3.03 %) seguido de la var. Piña (2.12 %) y por último la var. Manililla (0.63 %), por otra parte el almidón var. Manililla presenta un contenido de proteína mayor que el almidón var. Piña y Tommy con un porcentaje de (3.46 %, 1.10% y 2.93 %) respectivamente. En el análisis de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se identificó la morfología de los almidones, los cuales presentaron una forma esférica ovoide y un buen arreglo en su estructura debido a que no hubo daños sobre ellos, el tamaño de los gránulos fueron para el Manililla 13.22  $\mu\text{m}$ , Piña 16.78  $\mu\text{m}$  y Tommy Atkins 16.53  $\mu\text{m}$ .

Dentro del análisis de las propiedades térmicas, se realizó Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) y se identificó la temperatura pico ( $T_p$ ), el almidón que tiene mayor resistencia en condiciones de alta temperatura, es la var. Tommy Atkins que alcanzó un valor de 77.18 °C, la var. Piña una temperatura de 76.42 °C y por último la var. Manililla 75.89 °C, posteriormente para las propiedades estructurales se realizó la Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF), se encontraron vibraciones en los enlaces de grupos hidroxilo en la región de 3200-3400  $\text{cm}^{-1}$ , estiramiento entre enlaces C-H en la región 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$ , vibraciones de grupo carbonilo (C=O) en la región 1600-1800  $\text{cm}^{-1}$ , estiramiento en los enlaces de metileno (CH<sub>2</sub>) en la región 1250-1400  $\text{cm}^{-1}$ .

En el análisis de color se encontró que la biopelícula var. Manililla presentó un color menos intenso comparado con la var. Piña y Tommy Atkins, lo que resulta ser favorable para esta investigación, ya que se busca obtener una biopelícula de color transparente. Los valores obtenidos para las biopelículas respecto a la var. Manililla es 84.70 %, la var. Piña 79.42 % y la var. Tommy Atkins 74.82 %. En el perfil de ácidos grasos se identificaron los aceites palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico presente en los almidones de las tres variedades, a excepción del linolénico que no se encuentra en la var. Tommy Atkins, sin embargo, el aceite oleico presentó un mayor contenido en las tres variedades Manililla (46 %), Tommy Atkins (44 %), Piña (43 %). De acuerdo a los resultados de esta investigación se deduce que el almidón de la var. Manililla presentó similitud con los almidones convencionales que se utilizan en la industria alimentaria, se puede someter a temperaturas más altas, sin embargo, la temperatura óptima para que sufra el efecto de gelatinización es de 75.89 °C.

## JUSTIFICACIÓN

El municipio de Acapetahua, perteneciente a la zona del Soconusco de Chiapas; según la asociación productora de mango en Acapetahua cerca de 12,000 toneladas de mango es desperdiciado en las parcelas generando un aproximado de 1,200 toneladas de semilla. El aprovechamiento de estas semillas se puede realizar con mejor eficiencia en la temporada de producción del mango en los meses de enero a mayo y permitirá dar un enfoque tecnológico a los residuos, siendo una alternativa la obtención de almidón y aceite para aplicación como aditivos en alimentos.

La extracción de almidón y grasa son alternativas que permiten la obtención de materia prima útil en el área de alimentos. Esto contribuye a la diversificación de nuevas fuentes de almidones no convencionales y grasa, los cuales desempeñan su papel como espesantes en alimentos procesados como: salsas, sopas y productos de repostería, por otra parte, la grasa de la semilla de mango repercute en la elaboración de helados y chocolates; debido a que por sus propiedades se califica como un sustituto de la manteca de cacao (Dieter-Belitz, 2009; Culebro-Ramírez, 2017).

El aprovechamiento de los desechos mediante la obtención de almidón, promueve el desarrollo económico, debido a que permite generar un valor agregado a la materia prima que no es aprovechada; mediante la comercialización del almidón extraído, el cual tiene gran demanda en la industria alimentaria.

Como Ingenieros en Agroalimentos, se contribuyó al desarrollo tecnológico de nuevos productos en el área alimentaria. Además, se emplearon técnicas de control de calidad en los materiales y servicios involucrados en la industria alimentaria, así mismo, se demostraron destrezas experimentales y manejaron métodos adecuados de trabajo en el laboratorio.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Chiapas es uno de los principales productores de mango a nivel nacional, el municipio de Acapetahua perteneciente a la zona del Soconusco, produce 17 t/ha y se desperdician 12,000 toneladas de la producción total (dato obtenido de la Asociación Productora de Mango de Acapetahua). En los periodos de producción del mango, gran parte de esta materia prima lleva a cabo su proceso de maduración en el árbol, la cual al madurar cae al suelo y queda desechada como desperdicio, ya que no es comercializada debido a daños físicos que presenta, esta situación induce al desperdicio de cotiledón del mango y otras partes del mismo.

La mayor parte del mango producido en el municipio es destinada para exportación, entonces, debido al mal manejo post-cosecha, falta de fuentes de comercialización, sobre madurez, deficiencia en los estándares de calidad, falta de conocimiento de técnicas (extracción de almidón y grasa); para el aprovechamiento de los residuos, son los principales factores que dan como resultado la pérdida de 1,200 toneladas de cotiledón de mango de la producción total en el municipio.

En el municipio de Acapetahua Chiapas, no se cuenta con el conocimiento requerido para aplicar técnicas de aprovechamiento que permitan un buen manejo de los desechos orgánicos de la materia prima mango; así mismo, con la tecnología que permita transformar tales desechos para generar productos alimenticios, siendo la semilla la parte fundamental en este estudio, ya que a partir de esta se derivan algunos productos alimenticios. De no contar con técnicas de aprovechamiento y transformación de la semilla del mango, seguirá el aumento de los desechos, el sobrante de mango que queda en las huertas causa la proliferación de mosca de fruta la cual afecta no solo a los cultivos de mango sino también a otros cultivos, además de generar daños al medio ambiente y significativas pérdidas económicas para los productores afectando su estabilidad social y la de su familia.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Emplear cotiledones de tres variedades de mango para la obtención de almidón, biopelículas y aceite.

## Objetivos específicos

- a) Evaluar la composición fisicoquímica de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L. var. Manililla, Piña y Tommy Atkins.
- b) Determinar el tamaño de los gránulos del almidón de los cotiledones de *M. indica* L. por Microscopía Electrónica de Barrido.
- c) Identificar las propiedades térmicas de los almidones de tres variedades de mango por el método Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) y las propiedades estructurales por el método de Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF).
- d) Analizar el color de biopelículas de los almidones mediante el empleo de un colorímetro.
- e) Determinar el perfil de ácidos grasos presente en el aceite extraído de los cotiledones de *M. indica* L. mediante cromatografía de gases.

## MARCO TEÓRICO

### Antecedentes

Saavedra (2000), realizó análisis físico-químico, de almidón de la almendra de mango (*M. indica* L) variedad criolla. Mediante los métodos empleados en el análisis químico proximal de la materia prima. Y reportó que el almidón de mango ya purificado contiene en base seca 99.22 % de carbohidratos, 0.13 % de proteína, 0.61 % de grasa, 0.02 % de fibra y 0.01 % de ceniza. Además, los gránulos de almidón de almendra de mango son de forma ovoide y esférica cuyo tamaño varía de 8 a 28 micras.

Bello-Pérez *et al.* (2006), realizaron la extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. Para lo cual determinaron la composición química de los almidones nativos de mango y plátano, en donde la determinación de humedad se efectuó por diferencia de peso en estufa ( $130 \pm 2$  °C, 2 h) por lo que usó muestras de 2-3 g. El contenido de cenizas, proteína y grasa se analizaron con los métodos de la AACC 08-01, 46-13 y 30-25. Dentro de los resultados, para el plátano se reportó los siguientes porcentajes: humedad ( $4.9 \pm 0.5$ ), lípidos ( $2.3 \pm 0.3$ ), proteína ( $1.7 \pm 0.1$ ), cenizas ( $0.4 \pm 0.1$ ), y para el mango ( $7.7 \pm 0.22$ ), ( $3.3 \pm 0.3$ ), ( $0.4 \pm 0.0$ ) y ( $0.6 \pm 0.0$ ) respectivamente.

López *et al.* (2015), evaluaron el rendimiento de extracción y propiedades fisicoquímicas de la grasa de semilla de 20 cultivares de mango (*M. indica* L) en Colombia. La composición proximal: grasa 6.73 - 11.8 %; proteína 4.3 - 6.9 %; fibra cruda 2.6 - 6.1 % y cenizas 2.12 - 3.9 %. Las características fisicoquímicas determinadas en el aceite crudo mostraron los siguientes rangos: índice de acidez 0.78-1.83 % ácido oleico; índice de saponificación 121.77-233.88 mg de KOH/g; índice de peróxidos 0.76-3.19 meq O<sub>2</sub>/kg; índice de iodo 22.94-32.52 g de I<sub>2</sub>/100 g. El perfil de ácidos grasos presentó, en promedio, al ácido oleico 46.46 % y el ácido esteárico 37.58 % como componentes mayoritarios.

Montoya (2014), determinó las características reológicas, térmicas y físico-químicas de la harina y el almidón de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA) como alternativas para el mejoramiento de las características de productos agroindustriales. En el análisis proximal, la harina presentó un contenido de fibra de 18.82 % y el almidón presentó contenidos de proteína de 1.92 %, grasa de 5.3 % y fibra de 2.76 %. La harina presentó la temperatura más alta de

absorción de calor (68.88 °C) y su entalpía de gelatinización fue de 2.17 J/g; mientras que para el almidón estos valores fueron de 48.36 °C y 44.62 J/g, respectivamente.

Casarrubias *et al.* (2012), evaluaron las características morfológicas, fisicoquímicas y reológicas de almidones de cereales (maíz y cebada; *Zea mays* L y *Hordeum vulgare* L) y frutas (plátano y mango; *Musa paradisiaca* y *Mangifera indica*). Los gránulos del almidón de maíz eran esféricos, ovales y poligonales, entre 5 y 20 µm; los de cebada eran esféricos, entre 2 y 5 µm y ovales entre 15 y 25 µm; los de mango eran esféricos o de domo y punta, entre 5 y 12 µm; los de plátano eran alargados, con longitud promedio de 40 a 45 µm.

Millán (2004), determinó las características moleculares y estructurales del almidón de plátano (*Musa paradisiaca*), mango (*M. indica* L) y okenia (*Okenia hypogaea*). Los almidones de plátano, mango y okenia mostraron formas ovoides como el almidón de plátano y esféricas que es el caso de los almidones de mango y okenia, el almidón de plátano presentó un tamaño de gránulo en un intervalo de 10-40 µm, mango de 5-10 µm y en okenia de 1-3 µm.

Espinosa (2008), evaluó la estructura y propiedades fisicoquímicas de los almidones aislados de mango (*M. indica* L) y plátano (*M. paradisiaca* L) en estado inmaduro. Los gránulos de almidón de mango presentaron forma esférica, forma de campana, divididos y algunas hendiduras, con tamaño de gránulo promedio de 5-10 µm.

Kaur *et al.* (2003), concretaron las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, térmicas y reológicas de almidones separados de los granos de algunos cultivares de mango de la India. Donde afirman, que las propiedades reológicas de los almidones de diferentes cultivares de mango medidos utilizando una dinámica reómetro, mostró variaciones significativas en los valores de pico G' (módulo de almacenamiento), G'' (módulo de pérdida) y pico tanδ. El almidón de kernel Totapuri mostró el pico más alto G', G'', ruptura en G' y el bronceado pico más bajo valores. Los gránulos de gran tamaño del almidón del grano Totapuri parecían estar asociados con valores más altos de pico G' y G''. La turbidez de las suspensiones de almidón acuosas gelatinizadas, de todos los cultivares de mango, aumentado con el aumento en el período de almacenamiento. La pasta de almidón dashehari mostró valores de turbidez más bajos que otros cultivares de mango.

Thory y Singh (2017), estudiaron una comparación del almidón de la semilla de mango con un almidón novedoso de la semilla de litchi (*Litchi chinensis*): demostrando las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, pegajosidad y reológicas. Se realizó una medida reológica oscilatoria de pequeña amplitud para el almidón de almendra de litchi y mango con reómetro modular compacto 52 (Anton Paar, Austria), equipado con sistema de placas paralelas (4 cm de diámetro). Las pequeñas mediciones de amplitud se realizaron para determinar el efecto de temperatura sobre el comportamiento reológico de las suspensiones de almidón. Durante el calentamiento, el almidón de grano de litchi mostró un pico más alto  $G'$ ,  $G''$  y desglose en  $G'$  en comparación al almidón de mango. El pico  $\tan \delta$  de almidón de litchi y mango era  $<1$ , lo que indicaba que los almidones de almendra de litchi y mango eran más elásticos que viscosos.

Zamudio-Flores *et al.* (2015), evaluaron el color de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalaínas utilizando un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Co., Ltd., Osaka, Japón). Los resultados obtenidos para los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Croma, Hue se describen a continuación, respecto a las películas de avena sin betalaína fueron (92.63), (-0.02), (2.81), (2.81) y (90.24), y para las películas del plátano sin betalaína (94.88), (-0.03), (2.83), (2.83), (90.59).

Basilio-Heredia (2008), realizó la extracción de aceite del hueso de mango, para la determinación del perfil de ácidos grasos obtenidos por extracción mecánica y química, utilizando cromatografía de gases. Con un cromatógrafo de gases se obtuvo el perfil de ácidos grasos en muestras representativas de ácidos grasos extraídas mediante el prensado mecánico. Se observó que los ácidos predominantes fueron oleico (aproximadamente 58 %) y esteárico (aproximadamente 22 %); les siguió el palmítico y linoleico, con valores entre 6 y 7 %. Con excepción del ácido araquídico (2.7 %), el resto de los ácidos grasos detectados presentó valores menores al 1 %. Con el mismo cromatógrafo de gases se obtuvo el perfil de ácidos grasos en muestras representativas de ácidos grasos extraídos químicamente con acetona. En forma similar al perfil del extracto prensado mecánicamente, los ácidos predominantes fueron el oleico (aproximadamente 59 %) y el esteárico (aproximadamente 22 %), siguiendo el palmítico y linoleico, con valores entre 6 y 7 %. Con excepción del ácido cis 11 eicosanoico (2.6 %), el resto de los ácidos grasos detectados manifestó valores de 0.15 a 1 %.

Tapia-Santos *et al.* (2013), llevaron a cabo la obtención de aceite de la semilla de mango manila como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. Donde procedieron a la identificación de los ácidos grasos, la cual se realizó en un equipo de cromatografía de gases GC-14A (SHIMADZU, Japón), con columna capilar BP-225 (30 m x 0.53 mm, 1 µm Df, SGE) y detector de ionización de flama. Las características químicas del aceite de semilla de mango mostraron tener una mayor relación de grasas insaturadas (53.7 %) que de grasas saturadas (45.2 %), el ácido oleico fue el de mayor proporción (45.6 %).

Pascual-Bustamante *et al.* (2008), realizaron una caracterización física, química y fisicoquímica del aceite obtenido de la almendra de diferentes variedades de mango para su aplicación como sustituto de manteca de cacao en la elaboración de rellenos y coberturas de chocolate. El perfil de ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases, con detector de ionización de flama, columna capilar AT Silar, de 30 m de largo, diámetro de 0.25 mm, espesor de película de 0.25 µm, temperatura de la columna 250 °C, temperatura del inyector 250 °C, temperatura del horno 150 °C, gas portador Helio, split de 100 y flujo de 1 mL/min. Los ácidos grasos presentes en las dos fracciones de las diferentes variedades fueron: palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico y araquídico en diferentes concentraciones. Se seleccionaron como sustitutos para la elaboración de coberturas y rellenos de chocolate a los aceites y las grasas que presentaron similitud a la manteca de cacao.

## **Origen y distribución del mango**

El mango por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones adversas, es uno de los frutales más ampliamente distribuidos en el país; por lo que la mayor parte de la producción nacional proviene de huertos de traspatio, sin embargo, existen pocos huertos comerciales. El origen del mango se ubica en el continente asiático, entre la zona geográfica del noreste de la India y el norte de Burma, muy cerca del Himalaya. La distribución de su cultivo se extendió primeramente por el Sureste Asiático y más tarde al archipiélago Malayo; así los portugueses lo llevaron primero al continente Africano y posteriormente a las costas de Brasil, y de ahí se distribuye al resto de América (Rodríguez-Cedillos *et al.*, 2002).



## Posición taxonómica del mango

<b>Clase</b>	<i>Dicotiledóneas</i>
<b>Subclase</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Sapindales</i>
<b>Suborden</b>	<i>Anacardiineae</i>
<b>Familia</b>	<i>Anacardiaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Mangífera</i>
<b>Especie</b>	<i>Indica</i>

Fuente: (Galán-Saúco, 2009).

## Producción de mango en México

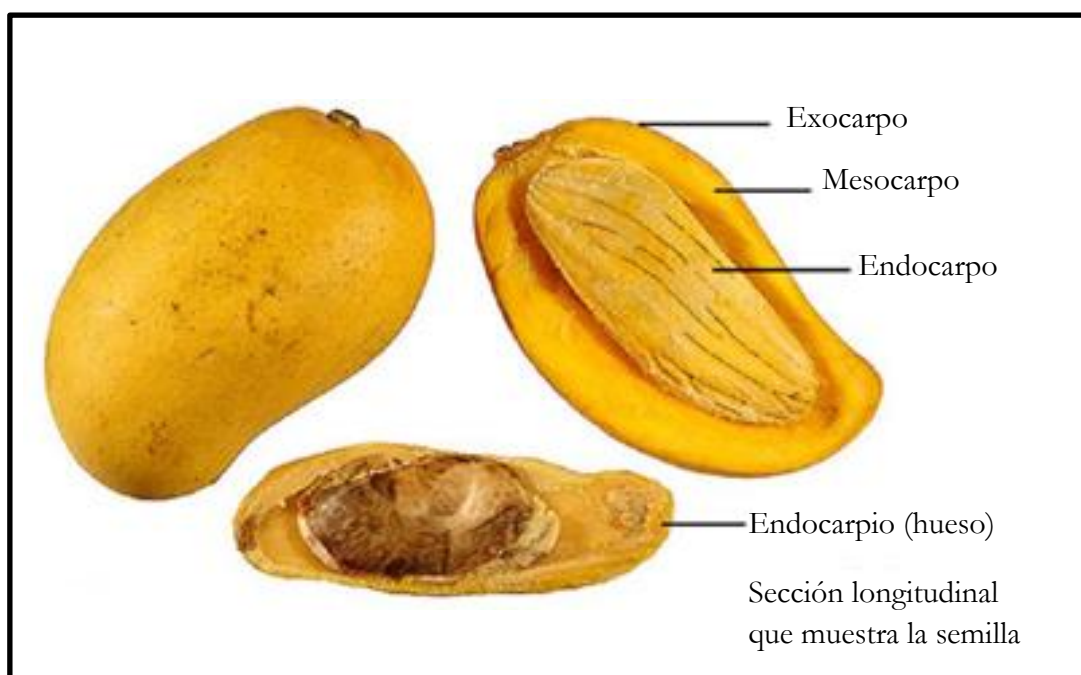
El estado de Sinaloa es el estado con mayor superficie sembrada de mango con 30,095.87 toneladas, Chiapas con 27,691.19, Nayarit con 25,221.60, Guerrero con 24,952.40 y Michoacán con 22,926.56 toneladas. Los principales estados productores de mango son Guerrero con el 22 % de la producción a nivel nacional, Nayarit 17 %, Sinaloa con 15 %, Oaxaca con el 10 % y Chiapas con el 9 %, entre estos cuatro estados acumulan el 73 % de la producción nacional (Pat-Fernández *et al.*, 2017). La producción de mango, aumentó 10 % durante 2016, con un volumen estimado de 1,911,108 toneladas, lo que representa que en el mundo, México ocupa el quinto lugar, lo que significa que una de cada 25 toneladas de mango disponible en el mundo es de origen mexicano, y se estima que en el 2018 se tenga una producción de 2 millones de toneladas (SAGARPA, 2017).

## Producción de mango en la región del Soconusco

Chiapas es uno de los Estados en el que debido, a la variedad de climas, es posible encontrar diferentes plantaciones de cultivos agrícolas que influyen en la alimentación de miles de familias y otros que son exclusivos de comercialización local y Nacional así como de exportación; tal es el caso del mango. En la zona del Soconusco se trabajan 20 mil hectáreas, en el 2016 se generó una producción de 70 mil toneladas, de las cuales se exportaron 31 mil; 22 mil a Estados Unidos, 7 mil a Canadá y 2 mil a Europa, Cifras que generaron una derrama económica de 540 millones de pesos (NOTIMEX, 2016).

## Composición física del mango

El patrón de crecimiento de la fruta es sigmoide, aunque su velocidad de crecimiento disminuye en la etapa final. El fruto es una drupa aplanada. La forma de la fruta varía entre redonda a ovalada con longitudes de 5 a 30 cm. El color de la cáscara puede ser amarillo, naranja o verde con chapeos de colores que pueden oscilar entre rojo claro y morado oscuro, Figura 1.



**Figura 1. Morfología del fruto de mango (CONASPROMANGO, 2012).**

Se sugiere que las partes del mango, consideradas como desecho en la industria (cáscara y semilla) pueden ser un buen recurso para la alimentación de animales rumiantes, debido a las características de su composición química. No existen evidencias de que el inicio y final de cosecha influyan mucho en características físicas y químicas de las frutas (Guzmán *et al.*, 2013). La composición física de mangos Nayaritas, y el análisis de las características físicas del fruto de diferentes variedades de mangos; se muestra a continuación, Tabla 1 y 2.

**Tabla 1. Composición física de mangos nayaritas.**

Composición	Peso (g)	Porcentaje (%)
Cáscara	57.1-69.3	13.7-15.5
Semilla	39.1-42.1	8.5-10.1
Cáscara y semilla	99.2-108.4	23.8-24
Pulpa	318.7-345.5	75.8-76.1
Total	417.9-454.2	100

Fuente: (Guzmán *et al.*, 2013).

**Tabla 2. Características físicas de diferentes variedades de mango.**

Variedad	Color	Tamaño	Peso (g)	Sabor	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Semilla (%)
Haden	Amarillo rojizo	Grande	362	Agradable	8.3	86.4	5.3
Corazal	Amarillo rojizo	Grande	345	Agradable	10.2	77.6	12.2
Cambodiana	Amarillo brillante	Mediano	215	Característico	9.3	75.8	14.9
Saygón	Verdoso amarillento	Pequeño	146.5	Agradable	17.9	65.6	26.5
Carne de Ica	Amarillo rosado	Mediano	215.6	Agradable	6.8	79.1	14.1

Fuente: (Saavedra, 2000).

## Desechos del procesamiento del mango

En México los desechos o subproductos agrícolas (cáscaras, huesos, bagazo, frutas y vegetales dañados o con problemas de madurez y calidad) representan un problema ambiental ya que no se cuenta con políticas adecuadas para su manejo y la mayoría de las veces son arrojadas a los basureros. Dichos subproductos son generados en grandes volúmenes y solo una mínima parte es reutilizada en la producción de alimento animal de bajo valor agregado (Ballinas-Díaz *et al.*, 2013).

Las cáscaras y el hueso del mango que pueden considerarse desechos pueden ser una fuente importante de compuestos bioactivos, tales como la pectina, polifenoles y manguiferina en las cáscaras, ácidos grasos poliinsaturados en el hueso y compuestos de naturaleza fenólica con

actividad antioxidante y antiinflamatoria. Además se ha reportado una importante actividad antimicrobiana en extractos de huesos de mango, debido a la naturaleza de los compuestos polifenólicos que contienen (Engels *et al.*, 2009).

### Harina de cotiledón de mango

La obtención de la harina integral a partir de cotiledones de mango, se obtiene al colocar los cotiledones a secado parcial a una temperatura de  $40 \pm 1$  °C en una estufa. Donde previamente se trituran con un mortero y se muelen con un molino de muelas, en donde finalmente son transferidas a un tamiz de malla 1.00- 2.00 mm<sup>2</sup>. Dentro de la semilla, 67 % corresponde a los cotiledones. Lo cual significa que este subproducto representa un potencial importante. El bajo valor de fibra sugiere la utilización de la harina integral para consumo animal, previo enriquecimiento con calcio, fósforo y proteínas, Tabla 3.

**Tabla 3. Análisis proximal de la harina de *M. indica* L.**

Parámetro	Porcentaje (%)
Humedad	$9.92 \pm 0.12$
Grasa bruta	$9.61 \pm 0.11$
Fibra	$3.12 \pm 0.08$
Ceniza total	$1.72 \pm 0.07$
Proteína	$6.9 \pm 0.11$
Calcio	$0.12 \pm 0.03$
Fósforo	$0.07 \pm 0.03$
Taninos	$12.35 \pm 0.16$

Fuente: (Moreno-Álvarez, 1999).

### El almidón

Los almidones son la principal fuente dietética de glúcidos utilizables. Son polímeros de glucosa y constituyen la reserva energética de la mayoría de los vegetales. Están integrados por moléculas de amilopectina, componente mayoritario y de cadena ramificada, y amilosa, formada por cadenas lineales; son poco solubles en agua fría y forman engrudos y geles en agua caliente. Los geles obtenidos a partir de almidones sufren con mayor o menor intensidad la sinéresis y la

retrogradación, por lo que, en la industria alimentaria, para evitar este fenómeno, se utilizan los denominados almidones modificados (Astiasarán *et al.*, 2003).

El almidón, es el segundo polisacárido más abundante, se encuentra ampliamente distribuido en las plantas donde es almacenado como reserva de hidratos de carbono en las semillas, frutas, tubérculos, raíces y tallos. El almidón es un polímero polidisperso que se presenta como polímero lineal en el caso de la amilosa y como polímero de alta ramificación en el caso de la amilodextrina. Los almidones se encuentran habitualmente en forma de gránulos o agregados de polímeros unidos intramolecularmente mediante enlaces de hidrógeno. El almidón comercial se obtiene a partir de maíz, patatas blancas, trigo, arroz, cebada, mijo, mandioca, tapioca, arruruz y sorgo (Seymour y Carraher, 2002).

### **Métodos para la extracción de almidón**

Se han realizado estudios en donde demuestran que existen dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones del mango tipo Hilacha. En donde los cotiledones son molidos hasta harina, la cual es sometida a dos tratamientos independientes de inmersión: (I) agua destilada, y (II) solución acuosa de NaOH 0.25 N en cualquier caso, los rendimientos de almidón obtenidos con relación al contenido inicial en la harina de cotiledón indican que ambos métodos de extracción son eficaces para la producción de almidones a partir de estas materias primas no utilizadas comercialmente, especialmente porque las mismas se producen como desechos en grandes cantidades. Así mismo, ambos métodos infieren en la composición química y física del almidón de cotiledón de mango, Tabla 4 y 5.

**Tabla 4. Rendimiento de la extracción de almidón de cotiledón de mango tipo Hilacha.**

Método de extracción	Rendimiento (g por 100 g de harina)
Con agua	50.8
Con NaOH	42.9

Fuente: (Medina *et al.*, 2010).

**Tabla 5. Composición química y física del almidón del cotiledón del mango Hilacha.**

Componente	Extracción	
	Con agua	Con NaOH
Humedad (%)	12.25	13.33*
Almidón total (%)	86.12	90.07*
Grasa cruda (%)	3.41*	2.52
Proteína cruda (%)	2.45*	1.80
Ceniza total (%)	0.12*	0.09
Fibra cruda (%)	3.84*	1.28
Azúcares totales (%)	1.25 ns	1.31
Taninos totales (%)	2.81*	1.93
Amilosa (%)	12.45 ns	13.02
Amilopectina (%)	87.55 ns	86.98
Índice de absorción de agua (g de agua por g de muestra)	1.40	1.75*
Índice de solubilidad (g de sólidos por g de muestra)	0.010*	0.0086

ns: no significativo

Separación de medias en cada fila según la prueba de t, \*: ( $P \leq 0,05$ ) Fuente: (Medina *et al.*, 2010).

## Usos y aplicaciones del almidón

Los almidones y los derivados de los almidones se pueden encontrar en muchos alimentos, actúan como vehículos inertes en preparaciones como polvos para hornear y, como espesantes en alimentos procesados como salsas, sopas, caldillos, cremas que incluyen helados, pudines y repostería. Cabe agregar que es muy utilizado en la industria alimentaria como aditivo para algunos alimentos. Cuenta con múltiples funciones entre las que cabe destacar: adhesivo, ligante,

enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante para el pan, gelificante, aglutinante, entre otros (Dieter-Belitz *et al.*, 2009).

Hoy en día el almidón tiene otras muchas aplicaciones. Por ejemplo, es un excelente agente antiadherente en múltiples usos. Pero también puede utilizarse para todo lo contrario: como adhesivo. Una utilización muy interesante del almidón es la preparación de embalajes de espuma, una alternativa biodegradable a los envases de poliestireno. Además, pueden usarse como un sustituto de ingredientes como el huevo y el aceite vegetal en la preparación de productos referenciados como bajos en grasa y no grasos de aderezos (Acuña-Pinto, 2012).

### **Principales fuentes del almidón**

Las principales fuentes de almidón usadas por el hombre son los cereales, con un contenido aproximado del 30 % al 80 %. Existen una gran variedad de fuentes que contienen almidón y los principales son los cereales como el trigo, arroz, avena, maíz, cebada, centeno, mijo, sorgo, alforfón, quínoa, amaranto. Cabe agregar que los tubérculos (patatas, boniato o batata, yuca, chufa), leguminosas (garbanzos, lentejas, alubias y judías, soja, habas, guisantes, almortas) y frutas (plátano y mango), también cuentan con un contenido alto de almidón (Tovar-Benítez, 2008).

### **Importancia del almidón en la industria alimentaria**

El almidón influye definitivamente en las propiedades organolépticas de muchos alimentos y esto está supeditado a las interacciones de este polímero con los otros componentes que se encuentran presentes. La facilidad del almidón para interactuar, no solo está determinada por la fuente botánica de la que procede, sino también de la relación de este compuesto con respecto a cada sustancia que lo rodee. Las modificaciones que sufre un almidón en su temperatura y velocidad de gelatinización cuando está presente en un alimento, son reflejo de la influencia de los diferentes constituyentes del medio en que se encuentra (Barrera *et al.*, 2004).

Los materiales y alimentos que contienen elevados porcentajes de almidón sufren cambios en sus propiedades reológicas (textura) al ser procesados. La textura es percibida como uno de las propiedades que determinan la calidad del producto final (pan, tortilla, almidones modificados, etc.). Ésta está relacionada con el tamaño de los gránulos de almidón, la composición del almidón (contenido de amilosa y amilopectina), la interacción entre los gránulos de almidón y otras

substancias presentes en el material (lípidos, proteínas, celulosa, entre otros), y la consecuente interacción entre los mismos gránulos (Canónico-Franco, 2003).

Los almidones se usan con varios fines en la industria según sus propiedades funcionales, las cuales son influenciadas por su organización estructural. El almidón modifica la textura de los alimentos por lo que industrialmente se usa como espesante, estabilizador coloidal y adhesivo. El uso de los almidones depende de su organización estructural más que de la fuente de la cual provienen. Las diferencias fisicoquímicas, funcionales y reológicas de los almidones de cereales y frutos se deben a sus características de tamaño, forma y arreglo cristalino, por lo cual puede tener diferentes aplicaciones (Casarrubias, 2012).

### **Factores que determinan la utilización del almidón**

Su contenido de amilosa y amilopectina, temperatura de gelatinización, consistencia del gel y textura, comportamiento viscoso y propiedades térmicas, permite su utilización en la industria alimenticia como estabilizante, agente de relleno, adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente de antienviejimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante y espesante (Sing *et al.*, 2005).

### **Alternativas de uso en diferentes productos comerciales**

**Alimentos extruidos:** la extrusión es un proceso térmico mecánico por medio del cual, materiales que contienen biopolímeros como los almidones, son plastificados y cocidos por la acción combinada de presión, calor y esfuerzo de corte. Ejemplos de algunos son; diferentes tipos de cereales inflados y hojuelas de cereal, carne de soya e ingredientes para bebés, niños e ingredientes para sopas instantáneas.

**Alimentos expandidos:** incluye los productos directamente expandidos DEEC (Direct expansion extrusion cooking) y los productos de expansión retardada PFEC (pellet to flaking extrusion cooking). Ambos son tecnologías avanzadas que permiten producir en forma económica una amplia gama de productos con sabores, texturas, aromas, formas y características nutricionales diversas. Los cereales directamente expandidos y listos para ser saboreados son productos aireados y poseen una textura crujiente y crocante; copos, inflados, integrales y ricos en fibra, barras de cereal.



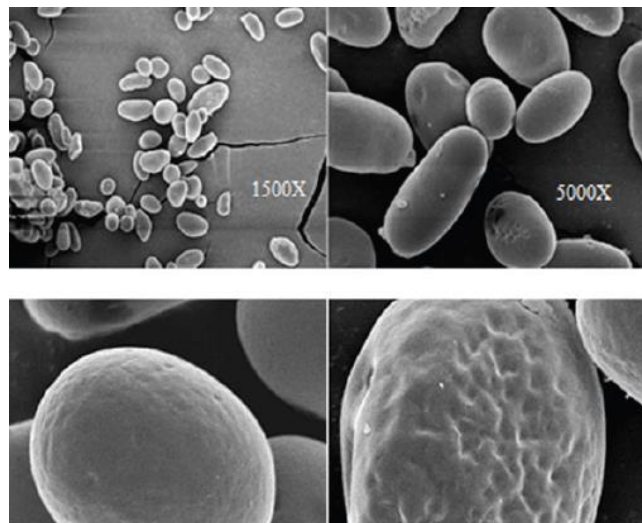
**Hidrolizados enzimáticos:** se realizan en una o dos etapas dependiendo del grado de polimerización deseado. Bajo condiciones óptimas, la dextrinización emplea dos horas trabajando a 85 °C, 6.25 unidades de pH, con adición de  $\text{Ca}^{+2}$  (150 mg/kg) y 1.25 kg de enzima/t de almidón; la sacarificación 16 horas utilizando una relación enzima sacarificante/ enzima desramificante de 1:1, pH de 4.2 y una velocidad de agitación de 30 rpm (González-Blair, 2012).

### **Importancia del tamaño de los gránulos de almidón**

Los gránulos grandes contienen altos niveles de humedad y amilosa aparente, pero bajos niveles de proteína. El tamaño del gránulo de almidón influye grandemente las propiedades térmicas y de pastificado de las harinas de maíz. Los gránulos grandes presentan alta viscosidad pico y retrogradación, pero con bajo tiempo y temperatura para alcanzar la viscosidad pico. Los gránulos más grandes gelatinizan más rápidamente a bajas temperaturas, pero con altas entalpías (Narváez-González *et al.*, 2007).

### **Análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB)**

Es una técnica de caracterización superficial no destructiva que proporciona información morfológica y de composición química de los materiales. Esta herramienta de análisis permite caracterizar una amplia variedad de materiales, algunos ejemplos son: materiales nano-estructurados, aleaciones metálicas, polímeros, minerales, fibras, películas delgadas, biomateriales, entre otros, debido al detalle y rapidez en la adquisición de las micrografías de superficie (LINAN, 2017), Figura 2.



**Figura 2. Micrografía electrónica de gránulos de almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*M. indica* L) (Gutiérrez *et al.*, 2015).**

Mediante la microscopía óptica se puede caracterizar morfológicamente el gránulo de almidones nacionales de maíz, yuca y papa. Además, permite determinar diferencias significativas de tamaño, forma y superficie. Este estudio microscópico de forma y tamaño, relacionado con otras propiedades, puede sentar base a la comparación y afirmaciones de selección de almidones para la elaboración de productos plásticos (Medina y Salas, 2008).

### **La espectroscopia de infrarrojo y los alimentos**

La espectroscopia de infrarrojo es una técnica de análisis utilizada ampliamente para estudiar la calidad de los alimentos. Esta técnica se basa en la interacción de un haz, en el rango de la energía en infrarrojo, con la sustancia alimenticia a medir. El equipo donde se lleva a cabo esta interacción haz de infrarrojo-alimento se llama espectrómetro de infrarrojo. Para llevar a cabo una interacción confiable se utiliza un dispositivo que se coloca en el espectrómetro. Hay accesorios de varios tipos, pero existe uno muy usado para el estudio de alimentos denominado accesorio de reflexión total atenuada (RTA), en el cual se puede colocar la muestra muy rápidamente, ya sea en estado líquido o sólido (Mondragón-Cortez, 2017).

### **Películas elaboradas con almidones de fuentes no convencionales**

El almidón es un polisacárido de múltiples aplicaciones industriales, se aísla por medios físicos a partir de diversas fuentes botánicas, siendo las más utilizadas a nivel industrial el maíz, seguido de papa, trigo y arroz. En los últimos años se ha incrementado la búsqueda de fuentes alternativas no convencionales para su extracción y uso, que permitan obtener nuevas o mejores propiedades funcionales para el desarrollo de productos. Además de aprovechar recursos agrícolas regionales que son subutilizados. Las películas formuladas con almidones de fuentes no convencionales poseen características mecánicas y de barrera singulares que podrían representar una opción para utilizarse en determinadas aplicaciones, disminuyendo así el uso de materiales sintéticos (Astilleros-Rosas, 2017).

Las películas y recubrimientos comestibles a base de polisacáridos, actualmente resultan una alternativa para fabricar innovadores empaques de alimentos, dada su biodegradabilidad y bajo costo de producción, sin embargo, su higroscopicidad e inestabilidad física son limitantes para su uso. La nanotecnología es un área que se está aplicando en el desarrollo de nuevos materiales, con mejores propiedades mecánicas y de barrera (Santiago, 2015).

## **Importancia de los recubrimientos comestibles en frutas**

La aplicación de los recubrimientos comestibles crea una barrera a la pérdida de vapor de agua, que se manifiesta como una disminución de la pérdida de peso durante el almacenamiento, comparando las frutas recubiertas y sin recubrir usadas como controles. Los recubrimientos logran la protección del color de las frutas durante el almacenamiento. Sensorialmente presentan mayor aceptación las frutas recubiertas, principalmente en el parámetro de apariencia y brillo (Moncayo-Martínez, 2013).

El uso de recubrimientos comestibles es una tecnología que está ganando importancia para prolongar la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas, debido a que actúan como una barrera contra la humedad. La pérdida de humedad en frutas, disminuye su firmeza y su peso provocando cambios en el sabor y la apariencia. Además, presentan permeabilidad a gases, en fruta almacenada disminuye su respiración, evita pérdida de compuestos volátiles y retarda la oxidación enzimática. Estos reducen la abrasión durante la manipulación de la fruta y son portadores de ingredientes funcionales (antimicrobianos y antioxidantes) (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013).

## **Importancia de la evaluación de color**

El color es un atributo muy importante a la hora de medir la calidad de un alimento, y con base a este se identifican muchas de las propiedades del mismo, de hecho, el color es el primer contacto que tiene el consumidor con los productos y posteriormente, los juzga por sus demás características sensoriales como textura, sabor, entre otras. Esto es contundente, ya que cuando el color de un alimento cambia, se obtiene una respuesta de rechazo de parte de los consumidores, o incluso, de los catadores entrenados. Es por ello que los procesadores de alimentos prestan una atención muy especial, tanto a la coloración de los ingredientes, como a los cambios de coloración de los productos durante su procesamiento, ya que ambos aspectos van a determinar la coloración del producto final (Chuchuca *et al.*, 2012).

## **Importancia de los aceites comestibles**

Los aceites comestibles constituyen un componente importante en nuestra alimentación y la variedad y el consumo de estos depende de la disponibilidad de cada país y región. La composición de los aceites no es estándar ya que varía considerablemente en el aporte de ácidos

grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, y particularmente en el aporte de ácidos grasos omega-6 y omega-3. Estos compuestos, que corresponden a la fracción denominada “insaponificable”, también aportan importantes beneficios para la salud. Se propone que es posible desarrollar aceites nutricionalmente más adecuados que los ya disponibles, con una mínima inversión y con un gran impacto para la salud nutricional (Valenzuela *et al.*, 2002).

## **HIPÓTESIS**

Los almidones aislados de cotiledones de mango (var. Manilla, Piña y Tommy Atkins), reúnen las características que pudieran permitir su aplicación en la elaboración de biopelículas y el aceite en la industria alimentaria.

# METODOLOGÍA

## Diseño de la investigación

La presente investigación se rige bajo el paradigma de investigación cuantitativa porque se recolectaron datos numéricos para probar hipótesis, con base a la medición numérica (Hernández *et al.*, 1991). El tipo investigación es descriptivo ya que comprende el registro y la interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es de presentar una interpretación correcta (Tamayo-Tamayo, 2003). En este trabajo se describió la composición fisicoquímica del almidón del cotiledón de mango, el análisis abordó: humedad, cenizas totales, lípidos y proteína cruda. Así mismo, la MEB para determinar el tamaño del gránulo de almidón. Además las propiedades térmicas y estructurales como CDB y EITF. Colorimetría de biopelículas y el perfil de ácidos grasos.

## Población

Se seleccionaron 160 semillas de tres variedades de mango: Manililla, Piña y Tommy Atkins. Esto con la finalidad de acumular 2 kg de cotiledón por cada variedad. Se colectaron en el municipio de Villa de Acapetahua, Chiapas se ubica en las coordenadas 15°16'19"N 92°41'26"W, Figura 3.



Figura 3. Área de estudio, Acapetahua Chiapas (Google Earth, 2018).

## **Muestra**

Para evaluar la composición químico proximal se utilizaron 50 g de almidón para humedad, cenizas 15 g, lípidos 10 g y proteína 0.4 g. En la MEB 1 g, para las propiedades térmicas y estructurales como CDB 1 g y EITF 1 g, para el estudio de colorimetría se utilizaron tres biopelículas y finalmente para el perfil de ácidos grasos se utilizó 1000 µL de lípidos. Cabe señalar que las unidades mencionadas se ocuparon para cada variedad de mango.

## **Muestreo**

Se recolectaron los mangos y posteriormente se obtuvieron los cotiledones, inmediatamente se procedió a realizar el análisis fisicoquímico en el laboratorio de Análisis de Alimentos en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, subsede Acapetahua del 12 al 23 de Marzo de 2018. El análisis de morfología del gránulo de almidón por MEB se realizó en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicada en la Ciudad de Apan, en los laboratorios de Ingeniería de Tecnología del Frío, que se encuentra en el estado de Pachuca del 4 al 7 de junio del 2018. Se determinaron las propiedades térmicas CDB y estructurales EITF en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados ubicado en el Estado de Monterrey del 27 al 30 de agosto de 2018. La colorimetría de las biopelículas se realizó en el laboratorio de Productos y Desarrollo de Alimentos Funcionales en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ubicada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas del 15 al 17 de Septiembre de 2018. El perfil de ácidos grasos en el CIAD en la Unidad Cuauhtémoc en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal y Toxicología en Chihuahua del 1 al 4 Octubre de 2018.

## **Variables**

Para realizar la investigación se identificaron y evaluaron las siguientes variables: composición químico proximal (humedad, cenizas, lípidos, proteínas). Además de la MEB (tamaño del gránulo), propiedades térmicas y estructurales: CDB y EITF, colorimetría y perfil de ácidos grasos.

## **Instrumentos de medición**

Los cotiledones de mango se cortaron en trozos pequeños y se sometieron a una solución de meta bisulfito durante 24 horas, en una estufa de secado DHG-9053-A marca HEEDDING a una temperatura de 50 °C, los cotiledones fueron licuados en una licuadora estándar, y colados,

el líquido resultante fue sometido a un proceso de centrifugación por medio de una centrifuga EBA 21 marca HETTICH ZENTRIFUGEN, los tubos de 14 mL Marca M FALCON y el PHmetro H12209 pH METER marca INSTRUMENTS. Los equipos utilizados para la realización de los análisis de químico proximal del almidón del cotiledón de mango (humedad, cenizas, lípidos, proteína) fueron: Estufa YAMATO DX402, balanza analítica PIONNER OHAUS ítem PA124, placa de calentamiento NOVATECH PC-500D, Mufla NOVATECH modelo KJR, Sistema de extracción Soxleth, unidad de digestión microkjeldahl, destilador, parrilla eléctrica. Para el análisis morfológico se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo 6010 Plus). Las propiedades térmicas CDB con un calorímetro diferencial de barrido modelo 2010 (TA Instruments, Inc. New Castle, USA) y las propiedades estructurales con EITF con un espectrofotómetro de infrarrojo (MIDAC, modelo PRS, california, EUA). La colorimetría mediante un SPECTROPHOTOMETER modelo CM-600D marca KONICA MINOLKA y finalmente el perfil de ácidos grasos con un cromatógrafo de gases Varian®

## **Descripción de técnicas utilizadas**

**a) Composición fisicoquímica de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. Indica* L var. Manilila, Piña y Tommy Atkins.**

**Determinación de humedad A.O.A.C. 934.01, (2002).**

Para determinar el contenido de humedad de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L Var. Manililla, Piña y Tommy Atkins se utilizó el siguiente procedimiento.

### **Procedimiento:**

“Determinación de Humedad” (por triplicado)

- a) Se colocaron 3 charolas de aluminio en la estufa de secado a una temperatura de 60 °C, hasta peso constante (PC).
- b) Se distribuyó, aproximadamente 5 g de muestra fina en el interior de la charola de aluminio (PI) a peso constante y se extendió la muestra.
- c) Se introdujo la charola con la muestra (sin tocarla con las manos) en la estufa de secado y se evaporó el agua a 60 – 65 °C durante 24 horas (hasta peso constante).



- d) Se retiró la charola de la estufa, se introdujo en el desecador, y se esperó a que se enfriara las muestras y se procedió a pesar las charolas con la muestra Seca (PF).

**Cálculos:**

$$\%H = \left[ \frac{PI - PF}{PI - PC} \right] \times 100$$

**Dónde:**

%H= Porcentaje de humedad

PI= Peso de charola con muestra fresca (g)

PF: Peso de charola con muestra seca (g)

PC: Peso de charola sin muestra (g)

**Determinación de cenizas totales A.O.A.C. 942.05, (2002).**

Para determinar el contenido de cenizas totales de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L Var. Manililla, Piña y Tommy Atkins se utilizó el siguiente procedimiento.

**Procedimiento:**

- a) Se colocaron tres crisoles en la estufa de secado, previamente etiquetados a una temperatura de 60 °C durante 24 horas hasta obtener peso constante.
- b) Posteriormente se colocaron en el desecador, se pesaron (A) y se adicionaron 5 g (M) de muestra molida en cada crisol.
- c) Se carbonizaron sobre la parrilla de calentamiento hasta que dejó de liberarse humo, cuidando que no se incendiara.
- d) Se incineraron en la mufla a temperatura de 550 a 600 °C, hasta que las cenizas tuviesen un color blanco a gris-blanco (aproximadamente 3 horas)
- e) Se retiraron los crisoles y se dejaron enfriar en el desecador durante 30 minutos y se pesaron los crisoles (B).

**Cálculos:**

$$\%C = \left[ \frac{B - A}{M} \right] \times 100$$

**Dónde:**

%C= Porcentaje de cenizas

A= Peso de crisol vacío (g)

B= Peso del crisol con cenizas (g)

M= Peso de la muestra (g)

**Determinación de Lípidos A.O.A.C. 954.02, (2002).**

Para determinar el contenido de lípidos de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L Var. Manililla, Piña y Tommy Atkins se utilizó el siguiente procedimiento.

**Procedimiento:**

- a) Se colocó el matraz (A) y los 3 cartuchos a peso constante en el desecador y se pesaron.
- b) Se pesaron 5 g de muestra seca dentro del cartucho previamente pesado (M).
- c) Se pesó el matraz
- d) Se depositaron los cartuchos en la trampa del extractor y se añadieron 2 sifonadas al extractor.
- e) Se extrajo por 16 horas (cuidando de que siempre haya paso de agua y hexano suficiente), dependiendo del contenido de grasa de la muestra.
- f) Posteriormente se colocó el matraz con grasa a peso constante en la estufa de secado y se pesó (B).

**Cálculos:**

$$\%EE = \left[ \frac{(B - A)}{M} \right] \times 100$$

**Dónde:**

%EE= Porcentaje de extracto etéreo

A=Matraz a peso constante (g)

B= Matraz con extracto etéreo (g)

M= Peso de la muestra (g)

### **Determinación de proteína cruda A.O.A.C. 954.01, (2002)**

Para determinar el contenido de proteína cruda de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L Var. Manililla, Piña y Tommy Atkins se utilizó el siguiente procedimiento.

#### **Procedimiento:**

- a) Se pesaron entre 0.2 a 0.1 g de muestra libre de grasa y seca, se adicionó a un matraz Micro-Kjeldahl de 30 mL
- b) Se agregaron 2 g de catalizador Micro-Kjeldahl (1.9 g de  $K_2SO_4$  + 40 mg de HgO) y 2 mL de ácido sulfúrico a cada matraz.
- c) Se colocaron en el digestor de 1 a 1.5 horas (cuando la muestra se volvió transparente, se calentó 1 hora más).
- d) Se transfirió la solución al aparato de destilación y se lavó el matraz de 5 a 6 veces con porciones de agua.
- e) Se colocó un matraz de 125 mL con 5 mL de ácido Bórico y 3 gotas de indicador, bajo el extremo del condensador, cuidando que la manguera quedara sumergida en la solución de ácido bórico.
- f) Se agregaron 10 mL de la solución Sosa-Tiosulfato, y se comenzó la destilación.
- g) Se colectaron 50 mL de destilado.
- h) Se tituló con HCl 0.1N hasta la aparición de un color violeta.

#### **Cálculos:**

$$\% N = \frac{14 * N * V}{M} * 100$$

$$\% PC = \%N * \text{Factor}$$

#### **Dónde:**

%N= Porcentaje de nitrógeno total

%PC= Porcentaje de proteína cruda

V= Volumen de HCL gastado en titular la muestra (mL)

eqN= 14.007

N= Normalidad de HCL (0.01)

M= Peso de la muestra (mg)

Factor: 6.25

**b) Tamaño de los gránulos del almidón de los cotiledones de *M. indica* L por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).**

Se realizó un análisis morfológico de MEB en los almidones aislados del cotiledón de mango. Para lo cual se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo 6010 Plus). Las condiciones de operación fueron 10 kV como voltaje de aceleración, la señal de electrones secundarios. Las muestras se adhirieron con cinta de grafito de doble cara de forma individual en porta muestras de cobre, se cubrieron con una película delgada de oro para hacerlas conductoras al haz de electrones y finalmente se introdujeron a la cámara del microscopio para su observación (Zamudio-Flores *et al.*, 2015).

**c) Propiedades térmicas de los almidones de tres variedades de mango por el método Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) y propiedades estructurales por el método de Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF).**

Para la CDB se evaluaron las variables (temperatura de inicio de gelatinización, temperatura de gelatinización, temperatura final de gelatinización, entalpía de gelatinización de los almidones, para lo cual se utilizó un calorímetro diferencial de barrido modelo 2010 (TA Instruments, Inc. New Castle, USA), el cual consistió en mezclar 2 mg de la muestra con 7  $\mu$ L de agua desionizada en una charola de aluminio (la determinación se hizo por triplicado). Y para la EITF se realizó con un espectrofotómetro de infrarrojo (MIDAC, modelo PRS, California, EUA), para lo cual se utilizaron pastillas de KBr. Las frecuencias de transición vibracional se reportaron en números de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) dentro del infrarrojo medio. Se registró un promedio de 34 barridos por muestra con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  en la región de 650 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  (Zamudio-Flores *et al.*, 2015).

#### **d) Color de biopelículas de los almidones mediante el empleo de un colorímetro.**

Para elaboración de las biopelículas el almidón fue sometido a un proceso de calentamiento, se agregó agua destilada y glicerol y se dejó en agitación hasta formar una pasta espesa. En la determinación del color en las biopelículas el análisis de color se realizó sobre el punto central de las muestras, se evaluaron las variables ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), para lo cual se utilizó un colorímetro cabezal KONICA MINOLTA modelo CM-600D con un observador ( $2^\circ$ , igualación del observador estándar CIE 1931), (Minolta, Ltd. Co., Ltd., Japan), para los valores de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El parámetro  $a^*$  (cromatismo verde-rojo) toma valores positivos para colores rojizos y valores negativos para colores verdosos, mientras que el parámetro  $b^*$  (cromatismo azul-amarillo) toma valores positivos para colores amarillentos y valores negativos para colores azulados.  $L^*$  es una medición aproximada de luminosidad, la cual es una propiedad mediante la que cada color puede ser considerado como el equivalente a un punto de la escala gris, entre el negro y el blanco, incluyendo valores en el rango de 0-100 adicionalmente, a partir de los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se calcularon los valores de ángulo de matiz o tonalidad ( $h$ ) y croma ( $C$ ), de acuerdo a las siguientes ecuaciones (1) y (2), las cuales se obtuvieron datos numéricos y se analizaron mediante el análisis descriptivo.

$$H_* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

#### **e) Perfil de ácidos grasos presente en el aceite extraído de los cotiledones de *M. indica* L mediante cromatografía de gases.**

Se realizó la esterificación de los ácidos grasos de acuerdo a la metodología de Haas *et al.*, (2006), con modificaciones. Se inyectó 1  $\mu$ L de muestra esterificada diluida (1:10 en hexano A.C.S) en un cromatógrafo de gases Varian® con detector FID a 260 °C, utilizando una columna capilar Supelco® SP-2560 de 100m X 0.25mm X 0.2  $\mu$ m y una rampa de calentamiento de 140 hasta 240 °C con incremento de 4 °C/min por 25 min. El tiempo de análisis fue de 35 min. Se utilizó hidrógeno como gas acarreador. La identificación y cuantificación de los ácidos grasos se realizó comparando las características cromatográficas del pico desconocido con una mezcla estándar de ácidos grasos certificada Sigma-Aldrich® FAME mix C8–C24.

## Descripción de análisis estadístico

En la siguiente investigación está regida bajo la estadística descriptiva, ya que el objetivo fue resumir o describir las características importantes de un conjunto de datos. Debido a esto se caracterizó la composición química proximal del almidón de cotiledón de mango (humedad, cenizas totales, lípidos, proteína cruda), así como el tamaño de los gránulos del almidón de cotiledón de mango (microscopía electrónica de barrido). Al igual que las propiedades térmicas del almidón (calorimetría diferencial de barrido) y propiedades estructurales (espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier), colorimetría de biopelículas y el perfil de ácidos grasos. Los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado y a partir de ellos se obtuvo la media y la desviación estándar por medio del software Excel.

### Fórmula de media:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

### Fórmula de desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### a) Composición fisicoquímica de los almidones extraídos de los cotiledones de *M. indica* L var. Manililla, Piña y Tommy Atkins.

Se realizó el análisis fisicoquímico de almidón de cotiledones de tres variedades de mango (Var. Manililla, Piña y Tommy Atkins. La determinación demostró que el almidón de mango Manililla tiene mayores contenidos en humedad y proteína con 7.60 y 3.46 %, de igual manera el almidón de mango Tommy presenta altos contenidos respecto a los componentes ceniza y lípidos con valores de 0.30 % y 3.03 % respectivamente, Tabla 6.

**Tabla 6. Composición fisicoquímica del almidón de tres variedades de *M. indica* L.**  
Fuente: Propia.

	Almidón de cotiledón de <i>M. indica</i> L. var. Manililla	Almidón de cotiledón de <i>M. indica</i> L. var. Piña	Almidón de cotiledón de <i>M. indica</i> L. var. Tommy Atkins	Almidón de cotiledón de <i>M. indica</i> L. var. Ataulfo De la Cruz (2018)
Humedad	7.60±0.59	6.71±0.08	6.18±0.19	4.51±0.97
Cenizas	0.17±0.008	0.04±0.02	0.30±0.06	0.20±0.02
Lípidos	0.63±0.06	2.12±0.91	3.03±0.96	0.05±0.03
Proteína	3.46±1.33	1.10±0.18	2.93±0.83	2.95±0.52

La diferencia de los resultados obtenidos se puede atribuir a las variedades ya que De la Cruz (2018), analizó el almidón de cotiledón de mango var. Ataulfo, y su proceso de extracción lo realizó en base seca. Medina *et al.* (2010), evaluaron la composición química del almidón del cotiledón del mango Hilacha, donde el único valor que diferencia de los resultados obtenidos en esta investigación, corresponde a humedad; ya que ellos obtuvieron valores de 12.25 %, con variación de 4.65 % para el mango Manililla, Piña 5.54 % y Tommy Atkins 6.07 %. En efecto, Saavedra (2000) quien caracterizó el almidón de la almendra de mango var. Criollo, obtuvo valores de 11 %, 2.67 %, 4.22 % y 0.14 % en cuanto a humedad, proteína, grasa y ceniza, así mismo; comparando estos resultados con los obtenidos en el presente estudio, se encuentran por encima en cuanto a la humedad del almidón de mango Tommy Atkins con 4.82 %, grasa del almidón de mango Manililla con 3.59 %, en oposición, los datos de este estudio que se

encuentran por encima de lo citado son: el contenido en proteína del almidón de mango Manililla con diferencia de 0.79 % y ceniza del almidón de mango Tommy Atkins con 0.16 %.

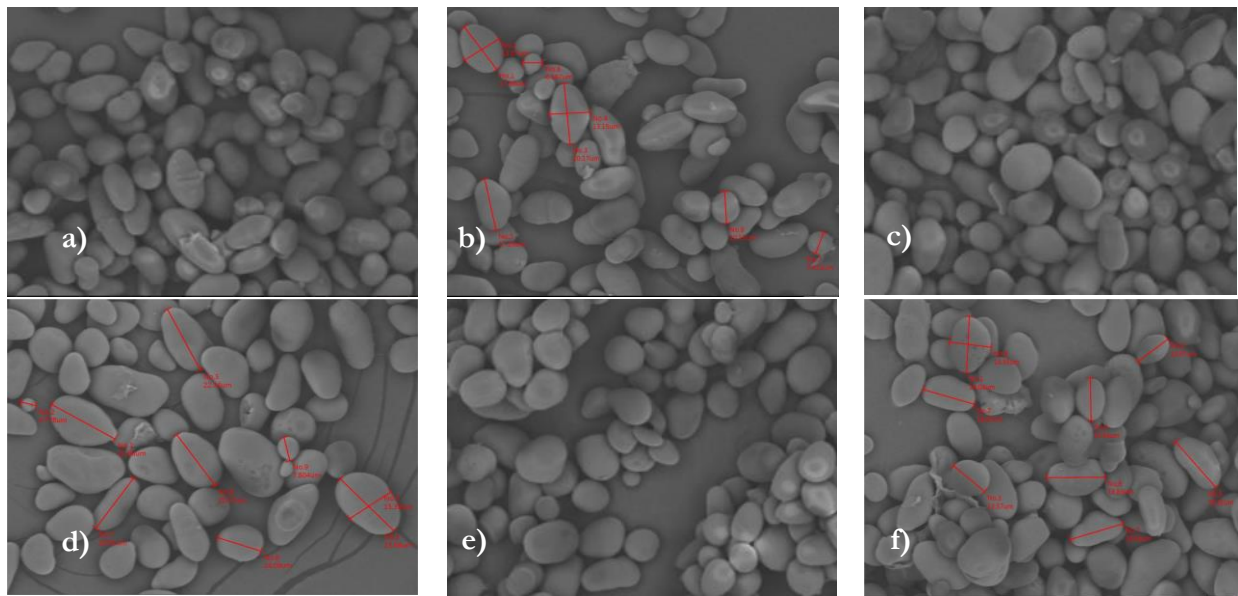
Las variaciones que se presentan en comparación con los resultados citados, se deben a la variedad del mango analizado, el clima y en algunos casos la base de extracción. Esta última condición se encuentra respaldada por Medina *et al.* (2010), gracias a que realizaron la comparación de dos métodos de extracción uno con agua y el otro con NaOH, donde se observan las variaciones que existen en cuanto a la composición química del almidón extraído.

Los resultados obtenidos reflejan que los almidones de las tres variedades tienen un alto contenido de proteína y lípidos, estos compuestos resulta ser residuos de contaminantes en el proceso de extracción. Para el recubrimiento de alimentos (biopelículas) es de suma importancia implementar un almidón puro, para que este cumpla su función de conservar el alimento durante un periodo largo, sin embargo para los almidones obtenidos en esta investigación es necesario eliminar o disminuir el contenido de proteína y grasa presente, esto también dependerá de implementar una metodología eficiente que permita obtener un almidón puro.

#### **b) Tamaño de los gránulos del almidón de los cotiledones de *M. indica* L. por Microscopía Electrónica de Barrido.**

Se realizó el análisis MEB para determinar el tamaño de los gránulos de los almidones de cotiledón de *M. indica* L. var. Manililla, Piña y Tommy Atkins. Se demostró que el tamaño promedio de los gránulos de almidón del mango Manililla fue de 13.22  $\mu\text{m}$ , Piña 16.78  $\mu\text{m}$  y Tommy Atkins 16.53  $\mu\text{m}$ , Figura 4.





**Figura 4. Micrografías de almidón de cotiledón de *M. indica* L: a y b Mango Manilla; c y d Mango Piña; e y f Mango Tommy Atkins.**

Los gránulos de almidón presentan una morfología esférica ovoide y buen arreglo en su estructura debido a que no hubo daños sobre ellos. De la Cruz-Marroquín (2018), obtuvo micrografías de almidón de cotiledón de mango var. Ataulfo, donde encontró que los gránulos de almidón presentan formas ovales con tamaños promedio de 16.47  $\mu\text{m}$ . En lo que respecta al análisis de MEB. Millán (2004), menciona que el almidón de mango muestra formas esféricas con un tamaño de gránulo que varía en un intervalo de 5-10  $\mu\text{m}$ , lo cual difiere en comparación con el resultado en este estudio, por otra parte, Floríndez-Calderón y Floríndez-Panduro (2009), obtuvieron microfotografías de los gránulos de almidón de almendra de mango var. Chico Rico y presentan que tienen una forma elíptica u ovoide en su gran mayoría y algunos son de forma esférica, el tamaño del gránulo varía de 8 a 28  $\mu\text{m}$  el cual es considerado de tamaño mediano.

La morfología de los gránulos de almidón puede ser atribuida al origen botánico, a la bioquímica de los amiloplastos, el grado de maduración del fruto y la fisiología de la planta (Lucas *et al.*, 2013), en comparación con otros estudios, se aprecia variabilidad en cuanto al tamaño del gránulo; esto se atribuye al distinto tipo de variedad de mango analizado. Los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango de algunos de los autores citados, por lo que presentan características para ser aplicados en alimentos; recordemos que entre menor sea el tamaño del gránulo de almidón mayor será su función como espesante y

mayor estabilidad si se somete a altas temperaturas al mantener su estructura, lo cual estos almidones pueden aplicarse en diversos productos alimenticios dependiendo cuales sean las condiciones de elaboración.

**c) Propiedades térmicas de almidones de tres variedades de mango por el método Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) y propiedades estructurales por el método de Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF).**

Se realizó el análisis CDB, al conocer el proceso fue posible identificar una de las propiedades térmicas (temperaturas de gelatinización) de los almidones en estudio. La determinación demostró que la  $T_p$  (°C) de los almidones de cotiledón de mango var. Manililla, Piña y Tommy Atkins; obtuvo valores de 75.89 °C, 76.42 °C y 77.18 °C respectivamente, presentando poca variabilidad de 1.29 °C en los tres almidones, Tabla 7.

**Tabla 7. Temperaturas y entalpía de gelatinización de los almidones aislados de cotiledón de tres variedades de mango.**

Almidones de cotiledón de <i>M. indica</i> L.	$T_i$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_f$ (°C)	$\Delta H$ J/G
var. Manililla	69.3	75.89	89.56	13.2
var. Piña	70.17	76.42	83.72	12.45
var. Tommy Atkins	71.04	77.18	88.57	12.22

$T_i$  (°C): Temperatura inicial  $T_p$  (°C): Temperatura pico  $T_f$  (°C): Temperatura final  $\Delta H$  J/G: Entalpía Fuente: Propia.

Los análisis de temperaturas de gelatinización se obtuvieron por CDB, al realizar este estudio se demostró que en los almidones de cotiledón de mango no se apreció una amplia diferencia entre los almidones de las tres variedades, presentando temperaturas de gelatinización de 75.89 °C, 76.42 °C y 77.18 °C para la var. Manililla, Piña y Tommy Atkins respectivamente. Sin embargo, en cuanto a entalpía el almidón de mango Tommy y Piña se encuentran en el mismo rango (12.22 a 12.45 J/G), en comparación con el almidón de mango Manililla que obtuvo una entalpía de 13.2 J/G presentando el valor más alto.

De la Cruz-Marroquín (2018), determinó las propiedades térmicas en almidones obtenidos del cotiledón de mango var. Ataulfo, los cuales presentan una temperatura pico de gelatinización de 78.15 °C. Tomando en cuenta un rango de 75-80 °C, los valores obtenidos por el investigador citado y los registrados en esta investigación se encuentran dentro de los mismos valores.

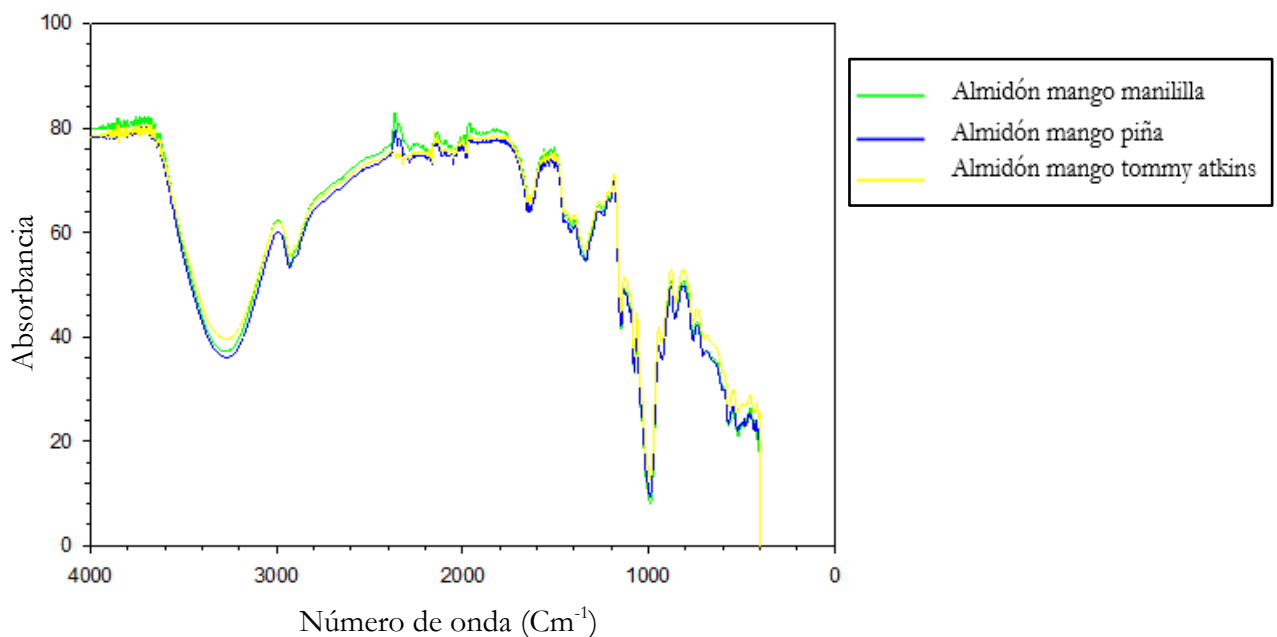
Se realizó la comparación de los resultados con los publicados por Alvis *et al.* (2008), quienes analizaron cuatro tipos de almidón nativo de ñame, tres de yuca y uno de papa. Donde obtuvieron que el almidón de ñame tiene temperaturas de gelatinización entre 75 y 79 °C, almidón de yuca entre 61 y 63 °C y el de papa un promedio de 66 °C. Los resultados citados para el almidón de yuca y papa se encuentran por debajo de los almidones en estudio; ya que la temperatura media de gelatinización de los almidones de mango fue de 76.49 °C, mientras que con el de ñame si se llega a una concordancia, debido a que los almidones de las tres variedades de mango analizadas (Manililla, Piña y Tommy Atkins) presentan valores entre 75.89 y 77.18 °C, por lo tanto se encuentran dentro del rango reportado.

Los valores encontrados para el almidón de las tres variedades de mango en estudio fueron similares a los valores encontrados para el almidón de makal y sagú, con gelatinización de  $T_p=78.4$  y  $74.9$  °C, respectivamente. Debido a altas temperatura, los almidones de makal y sagú hacen factible su inclusión en productos que requieren altas temperaturas de procesamiento (Hernández-Medina *et al.*, 2008).

Las diferencias de la temperatura pico de gelatinización que existen en comparación con los resultados de otros autores, se pueden atribuir a factores detectados como la cantidad de almidón presente en la solución, el método del análisis empleado, así como la forma y el tamaño de los gránulos de almidón, finalmente, cabe destacar que los resultados obtenidos se contrastaron con valores obtenidos en almidones de otras especies.

En el análisis EITF, se observaron vibraciones de tensión de los enlaces de los grupos hidroxilo del almidón en la región de 3200-3400  $\text{cm}^{-1}$ . El pico de 2800 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  es resultado del estiramiento entre los enlaces C-H. Además, se reporta que en la región de 1600 a 1800 se produjeron vibraciones las cuales son pertenecientes del grupo carbonilo (C=O). Finalmente, el pico 1250-1400  $\text{cm}^{-1}$  es característico del estiramiento entre los enlaces metileno (CH<sub>2</sub>), Figura 5.

Como se mencionó, la forma y el tamaño del gránulo de almidón van a influir en la estabilidad estructural al ser sometidos a altas temperaturas, la amilosa y la amilopectina son los dos polisacáridos que conforman el almidón y de la concentración de estas dependerá de la estabilidad, es decir, tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y térmicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso Thory & Singh, (2017).



**Figura 5. EITF de almidones de las tres variedades de mango.**

Fuente: Propia

#### **d) Color de biopelículas de los almidones mediante el empleo de un colorímetro.**

Con base a los valores obtenidos para los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$ , Croma; el almidón de mango de la var. Manililla, arroja un valor de 0.80, seguido de las var. Piña y Tommy Atkins con valores de 10.63 y 14.23 respectivamente, Tabla 8.

**Tabla 8. Colorimetría de biopelículas de almidón de tres variedades de mango.**

Valores	Tommy Atkins	Piña	Manililla
a*	3.80±0.87	3.57±0.33	-0.73±0.05
b*	13.73±2.72	10.02±0.97	0.28±0.22
L	74.82±2.82	79.42±0.56	84.70±0.41
Hue	74.92±0.46	70.46±0.18	160.76±13.22
Croma	14.25±2.85	10.63±1.03	0.80±0.13

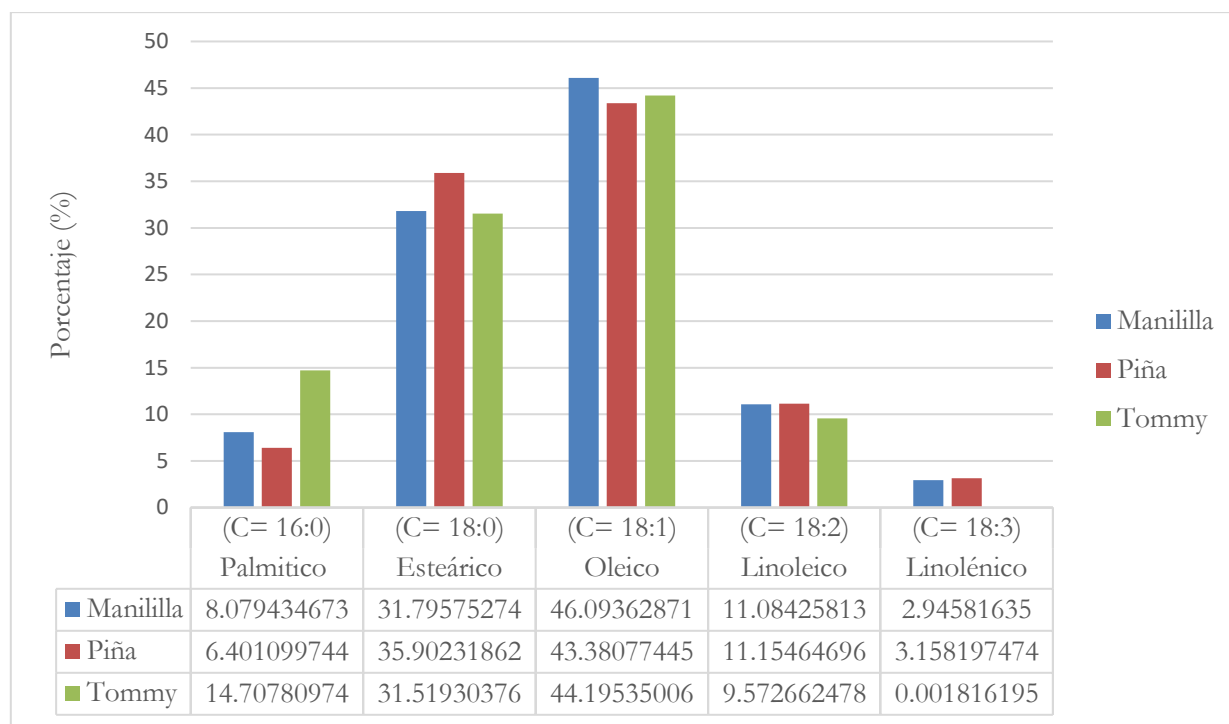
Fuente: Propia.

Para el análisis de colorimetría los resultados obtenidos difieren con lo reportado por Cortés *et al.* (2014), quienes evaluaron una mezcla de almidón de yuca de la variedad CM 7138-7 nativo y modificado por hidroxipropilación, donde reportaron para los parámetros a\*, b\* y L los cuales obtienen valores de -57.17 a -55.25, 5.89 a 7.05 y 61.40 a 64.68 respectivamente, por tanto, se afirma que los resultados obtenidos en este estudio se encuentran por encima de lo citado; ya que el valor medio para el parámetro de las biopelículas de las tres variedades de mango fue de a\*=2.21, b\*=8.01 y L=79.64. Con respecto a lo reportado por López *et al.* (2016), quienes evaluaron biopelículas elaboradas a partir de almidón de chayotextle para lo cual indicaron que el valor de a\* es de 18.6-40.4 y b\* es 28.8-51.1 comparando los resultados con los registrados en esta investigación se encuentra que las biopelículas en estudio (Manililla, Piña y Tommy Atkins) están relativamente por debajo de lo reportado, presentando para el parámetro a\* valores entre -0.73 y 3.80, y b\* valores entre 0.28 y 13.73; lo cual se puede atribuir a la fuente botánica y el proceso de extracción de los almidones para la elaboración de las biopelículas. En base a los resultados obtenidos de las biopelículas elaboradas de los tres almidones de mango la var. Manililla, fue la que presente mejor apariencia; es decir, un color transparente.

#### **e) Perfil de ácidos grasos presente en el aceite extraído de los cotiledones de *M. indica* L mediante cromatografía de gases.**

Con respecto al tipo de ácidos grasos que contienen los cotiledones de mango, los resultados se obtuvieron con el empleo de un cromatograma de gases. El análisis demostró que los ácidos grasos más destacados en la grasa del mango son el Oleico y Esteárico, para el almidón de mango

var. Manililla estos resultados son: 46.09 y 31.79 %, var. Piña 43.38 y 35.90 %, var. Tommy Atkins 44.19 y 31.51 %, respectivamente, Figura 5.



**Figura 6. Perfil de ácidos grasos obtenido de la grasa de cotiledón de tres variedades de almidón de mango.**

Fuente: Propia.

López-Hernández *et al.* (2016), estudiaron el perfil de ácidos grasos de 20 cultivares de mango en Colombia, en donde demuestran la presencia de los siguientes ácidos grasos: palmítico (16:0), margárico (17:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2), linolénico (18:3), araquídico (20:0), eicosenoico (20:1), behénico (22:0) y lignocérico (24:0). Los ácidos grasos que se detectaron en los aceites de los cotiledones de mango en estudio fueron: palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico.

Tapia-Santos *et al.* (2013), analizaron el aceite de mango var. Manililla, las características químicas de ese aceite mostraron tener una mayor relación de grasas insaturadas (53.7 %) que de grasas saturadas (45.2 %), donde encontraron que los ácidos grasos de mayor proporción fueron: oleico (45.6 %) y esteárico (32.3 %), para los valores del contenido en ácidos grasos de los aceites de cotiledones de las tres variedades de mango, tomando en cuenta un rango de 43.38-46.09 % de

ácido oleico y de 31.51-35.90 % para el ácido esteárico, los datos obtenidos por el autor citado y los obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del mismo rango.

Culebro-Ramírez (2017), obtuvo el perfil de ácidos grasos del aceite extraído de la semilla de mango Tommy mediante la aplicación de tres solventes, los ácidos grasos más predominantes fueron el esteárico y el oleico; mediante la extracción con éter de petróleo el resultado fue (39.25 y 40.45 %), hexano (41.03 y 39.97 %) y con acetona (41.38 y 38.80 %), respectivamente. Tomando en cuenta que en este estudio y el realizado por el investigador citado la extracción del aceite se llevó a cabo con el empleo de hexano, se estima que hay variabilidad; ya que en promedio los contenidos en ácido graso esteárico de las variedades de mango en estudio fué 33.06 % con variación de 7.97 % por debajo de lo reportado, y el de ácido oleico de 44.55 % con variación de 4.58 % por encima de lo reportado.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que las tres variedades de cotiledón de mango contienen los mismos tipos de ácidos grasos, pero el ácido graso que se encuentra en mayor proporción en las tres variedades es el oleico, para la var. Manililla presentó 46 %, para la var. Tommy Atkins 44 % y para la variedad piña 43 %, comparado con los autores antes mencionados podemos decir que los valores obtenidos son similares a los reportados por los mismos. Cabe señalar que las pequeñas diferencias resultan ser a la variedad del mango, y el solvente utilizado para su extracción; tal como se aprecia en la extracción con tres tipos de solventes realizada por Culebro-Ramírez (2017).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico de almidón obtenido del cotiledón de tres variedades de mango (Manililla, Piña y Tommy Atkins), demuestran en cuanto a lípidos valores entre 0.63 % y 3.03 %, y proteína entre 1.10 % y 3.46 %, pueden ser considerados como residuos durante el proceso de extracción, ya que la finalidad de este estudio es obtener un almidón puro.

Los tamaños de los gránulos de almidón se consideran de tamaño mediano (13-16  $\mu\text{m}$ ), los cuales lo hacen apropiado para su aplicación en alimentos, por lo que a menor tamaño del gránulo mayor será la estabilidad en el alimento.

Los análisis de las propiedades térmicas y estructurales, demuestran que los almidones extraídos de los cotiledones de mango var. Manililla, Piña y Tommy Atkins, presentan elevadas temperaturas de gelatinización, por tanto pueden ser aplicados en alimentos que requieren altas temperaturas.

Con respecto al análisis de colorimetría, de las biopelículas elaboradas con los almidones de las tres variedades de mango, la que presenta mejor apariencia en cuanto a color es el almidón de la var. Manililla, sin embargo las otras variedades presentan un color más oscuro, como lo refleja el análisis de color, ante esto los tres almidones pueden servir como cubiertas para alimentos.

El aceite extraído de los cotiledones de mango, reúne características que permiten su aplicación en el área de alimentos; el cual podría ser un sustituto de la manteca de cacao en la elaboración de chocolate y en el área de helados, gracias a su alto contenido en ácidos grasos Oleico y Esteárico.



## RECOMENDACIONES

Desarrollar estudios de TGA, Rx y viscosidad para tener un parámetro más amplio del arreglo estructural de los almidones no convencionales y así poder aplicarlos en ciertos alimentos para consumo humano.

Realizar el proceso de purificación de los almidones para obtener almidones puros, libres de residuos contaminantes como grasa, proteína, así mismo realizar proceso de blanqueado de los almidones de las tres variedades de mango para obtener biopelículas más claras.

Los ácidos grasos encontrados en los cotiledones de las tres variedades de mango contienen alto contenido de aceite Palmítico, Oleico, Linoleico, Linolénico y Esteárico por lo que podría ser una opción en la implementación de la elaboración de productos alimenticios como la confitería, helados y repostería.

## GLOSARIO

**Aglutinantes:** Sustancias que mantienen unidos productos combinados, partículas o mezclas, las cuales son utilizadas especialmente en la producción de alimentos.

**Almidón:** Sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales; se emplea en la industria alimentaria, textil y papelera.

**Biopelículas:** recubrimiento alimenticio elaborados a partir de polisacáridos.

**Calorimetría Diferencial de Barrido:** Es una técnica para el análisis térmico que evalúa el efecto de la temperatura sobre la variación de la capacidad calorífica ( $C_p$ ) de un alimento.

**Capacidad de absorción de agua:** Es la capacidad de las sustancias u organismos de incorporar otras u otros a su interior.

**Cromatografía de gases:** Técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos térmicamente estables y volátiles. Su principal objetivo es la cuantificación de cada compuesto presente en la mezcla.

**Emulsificante o emulgente:** es una sustancia que ayuda en la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar.

**Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier:** Esta técnica proporciona un espectro de reflexión de las bandas de los grupos funcionales de las sustancias inorgánicas y orgánicas, por lo cual es posible realizar una identificación de los alimentos.

**Espesantes:** Sustancia que se añade a una solución líquida para hacerla más espesa.

**Estabilizantes:** Aditivos que impiden la separación de las emulsiones, espumas y suspensiones en sus componentes individuales al aumentar la viscosidad de la mezcla o dando lugar a un gel.

**Gelificantes:** Aditivo alimentario que da a una preparación la consistencia de una gelatina.

**Lípidos:** Grasa, sustancia orgánica insoluble en agua que se encuentra en el tejido adiposo y en otras partes del cuerpo de los animales, así como en los vegetales, especialmente en las semillas de ciertas plantas.

**Microscopia Electrónica de Barrido:** Es una técnica de microscopía electrónica capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia.

**Morfología:** Disciplina que se ocupa del estudio y la descripción de las formas externas de un objeto.

**Perfil de ácidos grasos:** Prueba realizada para identificar el tipo de ácido graso presente en una muestra.

**Polifenoles:** son un grupo de sustancias químicas encontradas en plantas caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol por molécula. Los polifenoles son generalmente subdivididos en taninos hidrolizables, que son ésteres de ácido gálico de glucosa y otros azúcares.

**Polisacárido:** Hidrato de carbono formado mediante la unión de varias moléculas de azúcar, como el almidón o la celulosa, que tienen una función estructural o energética.

**Proliferación:** Incremento de la cantidad o el número de algo de forma rápida.

**Propiedades reológicas:** Para el caso de materias primas, tales como agentes espesantes y gelificantes, las mediciones de viscosidad y fuerza de gel respectivamente son necesarias para verificar si cumple con los requisitos de contratación.

## REFERENCIAS DOCUMENTALES

- A.O.A.C. 925.10. (1997). Métodos oficiales de análisis. Asociación de química analítica oficial. Washington Dc.
- Acuña-Pinto. (2012). Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias.
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., y Rada, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de ñame, yuca y papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas . Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería de Alimentos.
- Astiasarán, I., Lasheras, B., Ariño, A., y Matínez, A. (2003). Alimentos y Nutrición en la Práctica Sanitaria. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Astilleros-Rosas, N. (Enero de 2017). Evaluación de la biodegradación en el suelo de películas elaboradas con mezclas de almidón de sorgo. (Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos). Yauatepec de Zaragoza, Morelos, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Ballinas-Díaz, E. J., Vela-Gutiérrez, G., López-Zúñiga, E. J., Aguilar-Nágera, O. A., Caballero-Roque, A., Meza-Gordillo, P. E., León-González, J. M. (2013). Mango cultivo, tratamiento pre y postcosecha propiedades nutrimentales y funcionales. Tuxtla Gutiérrez: Oficina Editorial de la UNICACH.
- Barrera, V. H., Tapia, C. G., y Monteros, A. R. (2004). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Basilio-Heredia, J. (2008). Extracción de aceite del hueso de mango. 16-17.

- Bello-Pérez, L. A., González-Soto, R. A., Sánchez-Rivero, M. M., Gutiérrez-Meraz, F., y Vargas-Torres, A. (2006). Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. 441-448.
- Canónico-Franco, M. (2003). Agregación en gránulos de almidón. 2-3. Queretaro.
- Casarrubias, G., Méndez, G., Rodríguez, L., Sánchez, M., y Bello, A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. 8.
- Chaparro-Acuña, S. P., Lara-Sandoval, A. E., Sandoval-Amador, A., Sosa-Suarique, S. J., Martínez-Zambrano, J. J., y Gil-González, J. H. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*M. indica* L.). 67-75.
- Chuchuca, W., Dick, A., y Peñafiel, J. (2012). Implementación y validación de una metodología económica para la medición de color aplicada en alimentos. Escuela superior politécnica del litoral, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción.
- CONASPROMANGO. (Abril de 2012). Comité Nacional Sistema Producto Mango. Plan rector nacional de sistema producto mango. Tecomán, Colima, México.
- Cortés, J., Fernández, A., Mosquera, S., y Velasco, R. (2014). Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Colombia.
- Culebro-Ramírez, C. (2017). Extracción de aceite de la semilla del mango tommy atkins. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- De la Cruz-Marroquín, M. (2018). Propiedades funcionales de harina y almidón de *M. indica* L y *Musa paradisiaca* L. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos.
- Dieter-Belitz. (2009). Química de los alimentos. España: Editorial ACRIBIA, S.A.
- Engels, C., Knodler, M., Zhao, Y., Carle, R., Ganzle, M., y Schieber, A. (2009). Actividad antimicrobiana de *gallotannis* aislado de cotiledón mango (*M. indica* L.). 7712-7718.

- Espinosa, V. (2008). Estudios Estructurales de Almidón de Fuentes No Convencionales: Mango (*M. indica* L.) y Platano (*M. paradisiaca* L.). (Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos). Morelos: Instituto Politécnico Nacional.
- Floríndez-Calderón, C., y Floríndez-Panduro, G. (2009). Caracterización físico-química del almidón de almendra de mango (*M. indica* L.) variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Galán-Saúco, V. (2009). El cultivo del mango. Tenerife: MUNDI-PRENSA.
- González-Blair, G. (2012). Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos. Fundación Universitaria Agraria de Colombia(1). Bogotá: UNIAGRARIA.
- Google Earth. (2015).
- Gutiérrez, C., Rivera, Y., Gómez, R., Bastidas, V., & Izaguirre, C. (2015). Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*M. indica* L.). (Ingeniería Química), 33-42. Venezuela: Universidad de los Andes.
- Guzmán, O., Lemus, C., Bugarin, J., & Bonilla, J. (2013). Composición y características químicas de mangos (*M. indica* L.) destinados a la alimentación animal en Nayarit, México. 273-277. México: Revista Cubana de Ciencia Agrícola.
- Haas, M., McAloon, A., Yee, W., y Foglia, T. (2006). Modelo de proceso para estimar el costo de producción de biodiesel. Tecnología Bioresour, 71-78.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. 718-726. México: Ciencia e Tecnología de Alimentos.
- Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio. (1991). Definición del tipo de investigación a realizar: básicamente exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. Metodología de la investigación.

- Kaur, M., Singh, N., Singh Sandhu, K., y Singh, G. (2003). Propiedades físico-químicas, morfológicas, térmicas y reológicas del almidón separadas de los cotiledones de algunos cultivares de mango indio (*M. indica* L.). *Química de los alimentos*, 131-140.
- LINAN. (2017). Microscopia Electronica de Barrido. Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología.
- López, C., López, M., Gutiérrez, J., Arenales, I, Lauriano, B., Hernández, A. (2016). Efecto del uso de biopelículas sobre la calidad poscosecha de tomate nativo "ojo de venado" (*S. lycopersicum* L var. cerasiforme). *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*. México.
- López, M., Sandoval, A., y Valencia, J. (2015). Características fisicoquímicas de la grasa de semilla de veinte cultivares de mango (*M. indica* L.) en Colombia. 10-21.
- Lucas, J., Dumar, V., y Cárdenas, C. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*M. sapientum* L.). Universidad del Quindío, Facultad de Ciencias Agroindustriales.
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M. E., Moreno, M., Belén-Camacho, D., García, D., y Ojeda, C. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 67-74. Venezuela.
- Medina, J., y Salas, J. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de ingeniería*, 56-62.
- Millán, C. (2004). Estudios estructurales y moleculares del almidón de fuentes no convencionales: mango (*M. indica* L.), plátano (*Musa paradisíaca*) y okenia (*Okenia hypogaea*). (Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos). Morelos: Instituto Politécnico Nacional.
- Moncayo-Martínez, D. C. (2013). Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas. (Maestría en Ciencia y Tecnología Alimentos). Bogotá, Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Mondragón-Cortez, P. (2017). Espectroscopía de infrarrojo para todos y 51 espectros de alimentos consumidos en México. México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
- Montoya, J., Quintero, V., & Lucas, J. (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*M. acuminata* AAA). 11-21.
- Moreno-Álvarez, M. (1999). Evaluación fisicoquímica de una harina integral proveniente de semillas de mango (*M. indica* L. Var. Bocado). Ciencias Básicas y Tecnológicas, 25-27. Venezuela.
- Narváez-González, E. D., Figueroa-Cárdenas, J. d., Taba, S., Castaño-Tostado, E., y Martínez-Peniche, R. Á. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. Rev. Fitotec. Mex, 269-277. México.
- NOTIMEX. (2016). Mango Ataúlfo, joya de la región del Soconusco en Chiapas. Contacto Hoy, 1-2.
- Pascual-Bustamante, S., Vilchis-Martínez, G., Álvarez-Toledano, C., y Trejo-Márquez, M. (2008). Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate. 1-3.
- Rodríguez-Cedillos, M., Guerrero-Berrios, M., y Sandoval, R. (2002). Cultivo de mango. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. San Salvador, El Salvador.
- Saavedra, J. (2000). Obtención y Caracterización del Almidón de la Almendra del Mango (*Mangifera indica* L.) Variedad criolla. (Ingeniería Agroindustrial). Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. 16.
- Santiago-Santiago, M. (Septiembre de 2015). Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado. (Maestría en Ciencias Alimentarias). Xalapa de Enríquez, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.



- Seymour, R., y Carraher, C. (2002). introducción a la química de los polímeros. España: Revertè.
- Sing, N., Sandhu, K., y Kaur, M. (2005). Propiedades fisicoquímicas incluyendo morfología granular, contenido de amilosa, hinchazón y solubilidad, propiedades térmicas y pegajocidad de almidón normal, alta amilosa y el maíz azucarado. Progreso en investigación de biopolímeros de alimentos, 43-54.
- Tamayo-Tamayo. (2003). El proceso de la investigación científica. México: Limusa S.A de C.V.
- Tapia-Santos, M., Pérez-Armendáriz, B., Cavazos-Arroyo, J., y Mayett-Moreno, Y. (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*M indica* L.) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. Revista Mexicana de Agronegocios, 258-266. México.
- Thory, R., y Singh, K. (2017). Comparación del cotiledón de almidón de mango con una película de almidón de cotiledón de litchi (*Litchi chinensis*), propiedades fisicoquímicas, morfológicas, reológicas y pegajocidad. 911-921. India.
- Tovar-Benítez. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón del maíz (*Zea mays* L) obteniendo por diferentes métodos de aislamiento. (Licenciatura en Química en Alimentos). Pachuca: Instituto de ciencias básicas e ingeniería.
- Valenzuela, A., Sanhueza, J., y Nieto, S. (2002). ¿Es posible mejorar la calidad nutricional de los aceites comestibles? Revista chilena de nutrición, xxix(1). Santiago: Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos.
- Vázquez-Briones, M. C., y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. Departamento de ingeniería química, alimentos y ambiental. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Zamudio-Flores, P., Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J., Tirado-Gallegos, J., Bello-Pérez, L., Rubio-Rios, A., y Cárdenas-Felix, R. (2015). Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalainas. Agrociencia, 483-498.

Zamudio-Flores, P., Tirado-Gallegos, J., Monter-Miranda, J., Aparicio-Saguilán, A., Torruco-Uco, J., Salgado-Delgado, R., y Bello-Pérez, L. (2015). Digestibilidad in vitro y propiedades térmicas, morfológicas y funcionales de harinas y almidones de avenas de diferentes variedades. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*(16), 81-97.