



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN  
ALIMENTOS**

**TESIS DE LICENCIATURA**

**DESARROLLO DE PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN DE  
PLÁTANO CON REFORZAMIENTO DE BAGAZO DE NARANJA**

Para obtener el título de  
Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

**PRESENTA**

José Ramiro Ávila González

Director:

Dr. Apolonio Vargas Torres

Codirector:

Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Tulancingo Hgo. Noviembre de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
 Instituto de Ciencias Agropecuarias  
*School of Forestry and Environmental Studies*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 26 de Noviembre de 2024

**Asunto:** Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**  
 Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, **Avila Gonzalez Jose Ramiro**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Desarrollo de películas a base de almidón de plátano con reforzamiento de bagazo de naranja”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

**PRESIDENTE** Dr. Apolonio Vargas Torres

**SECRETARIO** Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

**VOCAL 1** Dra. Heidi María Palma Rodríguez

**SUPLENTE 1** Dr. Juan Pablo Hernández Uribe



Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente  
 “Amor, Orden y Progreso”

**Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez**  
 Coordinador de Ingeniería en Alimentos.

Avenida Universidad Km. 1 s/n,  
 Exhacienda Aquetzalpa Tulancingo  
 de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600  
 Teléfono: 771 71 72000 ext 2461  
 ricardo\_navarro@uaeh.edu.mx



[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por la vida que me regalo por dejarme recorrer un camino iluminado de enseñanza, aprendizajes y alegría.

Agradezco a mi madre y a mi familia por todo el apoyo que me dieron durante la elaboración del proyecto.

A los Dres. Apolonio Vargas Torres y Ricardo Omar Navarro Cortez por dirigir y apoyar el desarrollo de la investigación de este trabajo.

Al cuerpo académico de aprovechamiento de polímeros de interés alimentaria por Dra. Heidi palma Rodriguez, Dr. Apolonio Vargas torres, Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez y Dr. Juan Pablo Hernandez Uribe por su contribución en la tesis.

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios, gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mi madre Verónica y mi abuela Teresa por ser un gran ejemplo de sacrificio y esfuerzo, por darme su amor, por enseñarme a nunca rendirme ante los problemas, en confiar en mí y apoyarme siempre en mis decisiones. A mi gatito pantera que siempre estuvo en toda la carrera dándome ánimo.

## INDICE

INDICE.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN .....	ix
1. INTRODUCCION.....	1
2.MARCO TEORICO .....	3
2.1.1 Películas y coberturas a base de polímeros .....	3
2.1.2 Almidón .....	4
2.1.3 Amilopectina.....	5
2.1.4 Amilosa .....	5
2.1.5 Caracterizaciones fisicoquímicas en cambios durante tratamientos térmicos.....	6
2.2 Almidón de plátano macho.....	7
2.3 Naranja .....	9
2.3.1 Morfología del fruto de naranja .....	10
2.3.2 Composición química de la naranja.....	11
2.3.3 Bagazo de naranja.....	12
2.4 Usos del Bagazo de naranja.....	12
2.4.1 Pectina.....	13
2.5 Biopelículas .....	13
2.5.1 Aditivos para la elaboración de películas .....	13
2.5.2 Usos de películas .....	14
2.5.3 Biopelículas de almidón .....	15
2.5.4 Biopelículas de almidón de plátano macho.....	15
2.5.5 Biopelículas con reforzamiento .....	15
3. Justificación .....	17
4.1 Objetivo General.....	18
4.2 Objetivos Específicos .....	18
5. Metodología .....	19

5.1 Diagrama general del proceso de obtención de biopelículas utilizando almidón de plátano macho y polvo de bagazo de naranja .....	19
6. Materiales y métodos .....	20
6.1 Materiales .....	20
6.2 Preparación del polvo del bagazo de naranja .....	20
6.3 Obtención de almidón de plátano macho .....	20
6.4 Diseño experimental .....	21
7. Elaboración de películas de almidón nativo de plátano macho ( <i>Musa paradisiaca L</i> ) y películas de bagazo de naranja .....	21
7.1 Solubilidad de Biopelículas .....	22
7.2 Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) .....	22
7.3 Propiedades mecánicas .....	23
7.4 Análisis estadísticos .....	23
8. Resultados y discusión .....	23
8.1 Solubilidad .....	23
8.2 Permeabilidad al vapor de agua (PVA) .....	25
8.3 Propiedades mecánicas .....	27
9. Conclusión .....	31
Bibliografía .....	32

## INDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Composición química de la naranja por cada 100 g de naranja .....	12
<b>Tabla 2.</b> Formulaciones probadas para la elaboración de las películas.....	21
<b>Tabla 3.</b> Solubilidad en las biopelículas de bagazo de naranja y almidón de plátano. ....	24
<b>Tabla 4.</b> PVA en las biopelículas de bagazo de naranja y almidón de plátano.	26
<b>Tabla 5.</b> Pruebas mecánicas.....	29

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura de amilopectina .....	5
<b>Figura 2.</b> Estructura de amilosa.....	6
<b>Figura 3.</b> Morfología de almidon de platano .....	8
<b>Figura 4.</b> Fotomicrografías de almidón .....	9
<b>Figura 5.</b> Morfología de naranja.....	11

## RESUMEN

El uso excesivo de polímeros sintéticos derivados del petróleo como plásticos, han llevado un gran impacto ambiental negativo después de su utilización, esto ha favorecido a la creación de nuevas fuentes de polímeros naturales como almidón, capaces de formar una matriz ordenada y rígida, que podría ser sustituidos por plásticos de origen natural contribuyendo al daño ecológico. En este estudio se evaluaron las propiedades físico-mecánicas, de las películas por catings a partir de diferentes concentraciones de bagazo de naranja y almidón de plátano macho, una vez obtenidas las películas se sometieron 75% HR, con el fin de observar el efecto de variables en las propiedades mecánicas y estructurales de las películas. Las películas de almidón con reforzamiento de bagazo de naranja presentaron 114.520 (N/m), resistencia máxima a la tracción 48.940 (Mpa), alargamiento de ruptura 22% y módulo de Young 4.5 (Mpa). La adición de polvo de bagazo de naranja disminuyo el alargamiento de ruptura sin afectar las propiedades mecánicas, mejorando la solubilidad y permeabilidad al vapor de agua (PVA).

**Palabras clave:** películas biodegradables, propiedades mecánicas, naranja, almidón, plátano macho, permeabilidad al vapor de agua.

## ABSTRAC

The excessive use of synthetic polymers derived from petroleum as plastics, have led to a great negative environmental impact after their use, this has favored the creation of new sources of natural polymers such as starch, capable of forming an ordered and rigid matrix, which could be replaced by plastics of natural origin contributing to ecological damage. In this study, the physical-mechanical properties of the films were evaluated by catings from different concentrations of orange bagasse and plantain starch, once the films were obtained, they were subjected to 75% HR, in order to observe the effect of variables in the mechanical and structural properties of the films. The starch films reinforced with orange bagasse presented 114,520 (N / m), maximum tensile strength 48,940 (Mpa), elongation at break 22% and Young's modulus 4.5 (Mpa). The addition of orange bagasse powder decreased the elongation at break without affecting the mechanical properties, improving the solubility and water vapor permeability (PVA).

**Keywords:** biodegradables films, mechanical properties, orange, starch, plantain, water vapor permeability.

## 1. INTRODUCCION

El almidón es uno de los polímeros naturales más abundantes en la naturaleza, compuesto de una mezcla de amilosa y amilopectina cuya proporción varía de un tipo a otro, según sea la fuente de la que se obtiene. La Amilosa es esencialmente un polímero lineal en el cual las unidades de anhidro glucosas están presentes, unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4) y un leve grado de ramificaciones en enlaces  $\alpha$  (1-6); (León-Méndez y otros, 2020).

Actualmente ha cobrado importancia el uso de biopolímeros de origen vegetal para reemplazar los polímeros convencionales sintéticos. Siendo la opción más utilizada el almidón. Los biopolímeros poseen propiedades fisicoquímicas particulares que actualmente están siendo aprovechados por diferentes sectores.

De acuerdo con Ramos & Paye-Zeballos, (2022) existen una gran variedad de alternativas para reemplazar a los polímeros convencionales por polímeros de origen vegetal, siendo el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), almidón de plátano macho (*Musa balbisiana*), y el almidón de maíz (*Zea Mays* L) como los más utilizados y estudiados, debido a su bajo costo y nula toxicidad. Por otro lado, al ser de origen vegetal contribuye a la mitigación de contaminación ambiental por residuos plásticos.

Las biopelículas a base de almidón de plátano macho y extracción de harina de bagazo de naranja se han elaborado como materiales nuevos y novedosos que permiten preservar a los alimentos.

Estos compuestos poliméricos derivados de fuentes naturales como almidones, celulosa y otros biomateriales, representan un paso hacia una salud del ecosistema global, ofreciendo una alternativa biodegradable y renovable; las películas de almidón son rentables, biocompatibles y biodegradables, se han utilizado como materiales de embalaje en la industria alimentaria los cuales son una tendencia en el envasado en los últimos años, por lo tanto; las películas a base de almidón han recibido una amplia atención de investigación; además, permiten agregarles agentes antibacterianos, antioxidantes y de barrera (Cui y otros, 2021).

En el caso de la cáscara de naranja, contiene pectina, el cual es un heteropolisacárido complejo, constituido por una importante pared celular primaria de las plantas superiores, la pectina consiste en estructuras de  $\alpha$  (1-4) de ácido galacturónico con ramificaciones laterales de cadenas de azúcares neutrales como ramnosa, arabinosa, xilosa y galactosa. La pectina es utilizada en la industria de alimentos como agente gelificante, espesante, texturizante, emulsificante y estabilizante para la modificación de productos alimentarios (Ramos Alvarado y otros, 2020).

## **2.MARCO TEORICO**

### **2.1.1 Películas y coberturas a base de polímeros**

En la actualidad existen numerosos estudios relacionados a la obtención de biopolímeros, motivo por el cual se deben evaluar algunos estudios desarrollados a nivel nacional e internacional, para utilizarlos en sustituciones de polímeros sintéticos.

Se han realizado estudios con la cáscara de naranja para crear biopolímeros con almidón de plátano macho, agua y glicerol. La utilización de este producto considerado como desperdicio esto con el fin de sumar a una economía. Este estudio de material resistente conformado con almidón de plátano macho representa las mejores condiciones en base a la flexibilidad, por otro lado, no hubo un mayor impacto con respecto a la porosidad presente (Ramos & Paye Zeballos, 2022).

Alcivar-Gavilanes & Carrillo Anchundia (2022), reportan el desarrollo de bioplásticos a partir de residuos de plátano en mezcla con el pseudotallo de la planta, para obtener un material termoplástico, al cual se le examinó su espesor, propiedades al vapor de agua y sus propiedades mecánicas; de acuerdo con Mayhuire y otros (2019); el contenido de pectina influye significativamente en las propiedades de la película debido a su interacción con el glicerol.

Se han utilizados polisacáridos como pectina y almidón, en comparación con glicerol para crear revestimientos y películas comestibles para reducir plásticos tradicionales. Los polímeros petroquímicos, no son renovables y tampoco biodegradables, por lo cual debe existir la forma de encontrar materiales de embalaje alternativos que sean biodegradables y renovables.

### **2.1.2 Almidón**

De acuerdo con Morrison & Boyd, (1998) el almidón tiene la forma de gránulos esféricos u ovals dependiendo del tamaño y fuente de obtención; cuando los gránulos están intactos son insolubles en agua fría, pero en agua caliente se hinchan a tal extremo que se rompe su estructura granular. Si se rompe su membrana exterior, estos gránulos tienen la capacidad de absorber en agua fría y forman un gel. El almidón contiene un 20% de una fracción soluble en agua (amilosa) y un 80% en insoluble (amilopectina).

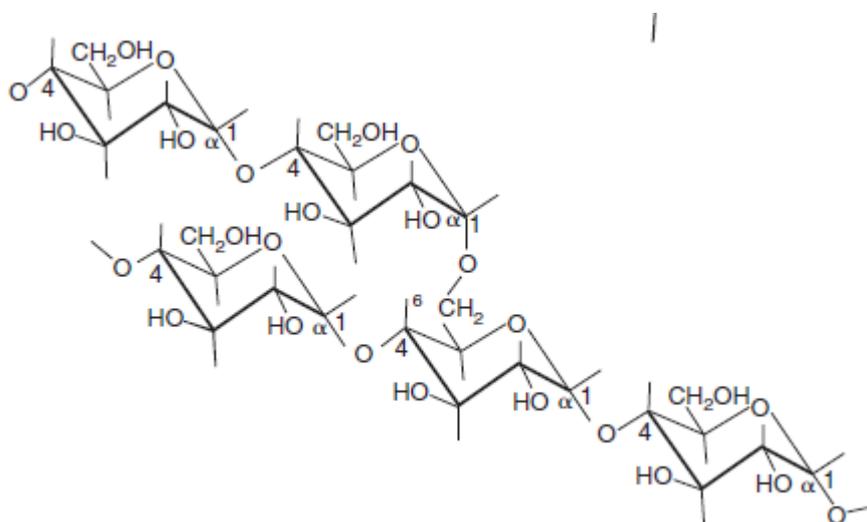
El almidón es uno de los principales polisacáridos, uno de los componentes más importantes presentes en los cereales (maíz, trigo, arroz, cebada) los cuales contienen de un 30-80%, leguminosas (frijoles, guisantes, haba) con un 25-50%, tubérculos (papa, tapioca) con 60-90%, algunos frutos en estado fisiológico maduro (mango y plátano) los cuales tienen un 70% en base seca (Núñez-Santiago y otros, 2004).

Las propiedades fisicoquímicas y funcionales que presenta el almidón son utilizado en diferentes industrias (alimentos, farmacéutica, textil y petrolera), teniendo que las propiedades fisicoquímicas que presentan los almidones están representadas por dos polisacáridos constituyentes (amilosa y amilopectina). Una de las propiedades del almidón se relaciona en los alimentos a la habilidad de absorber agua durante su calentamiento, lo cual resulta en la gelatinización (Blazek & Copeland, 2007).

### 2.1.3 Amilopectina

La amilopectina es el componente ramificado del almidón, formada por cadenas del residuo  $\alpha$ -D- glucopiranosidos (entre 17 y 23 unidades) unidos por enlaces  $\alpha$  (1-4) y presenta enlaces  $\alpha$  (1-6) en los puntos ramificados (Castillo Zúñiga y otros, 2015).

La molécula amilopectina está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí, para formar moléculas grandes con numerosas ramificaciones laterales cortas. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las de amilosa; algunas contienen entre 10,000 y 20,000 unidades de glucosa. La amilopectina es esencialmente insoluble en agua caliente.

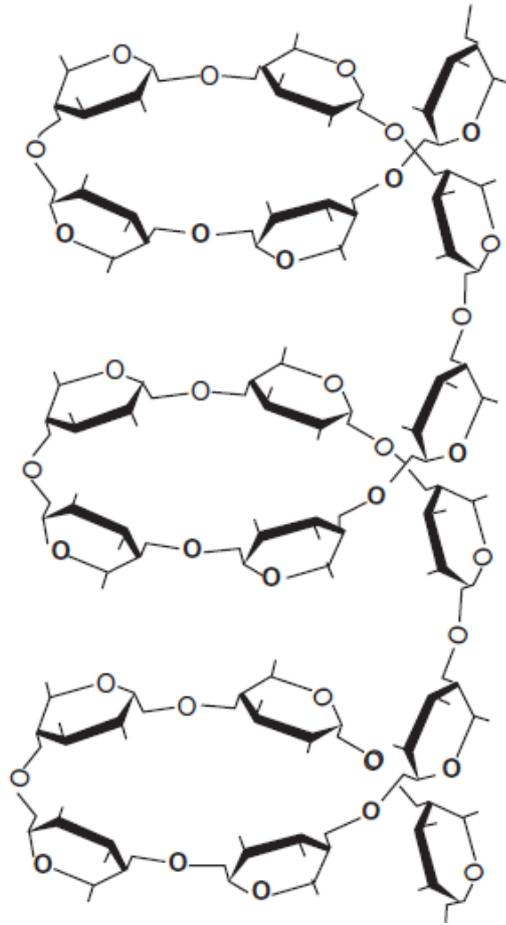


**Figura 1.** Estructura de amilopectina

**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

### 2.1.4 Amilosa

Es un polímero esencialmente lineal, formado por unidades de D-Glucosa unida por enlaces  $\alpha$  (1-4); sin embargo, se ha demostrado la presencia de algunas ramificaciones con enlaces  $\alpha$  (1-6) (Castillo Zúñiga y otros, 2015). La amilosa está constituida por muchos anillos de glucosa unidas entre sí para formar moléculas grandes que no tienen ramificaciones.



**Figura 2.** Estructura de amilosa

**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

### **2.1.5 Caracterizaciones fisicoquímicas en cambios durante tratamientos térmicos.**

#### **2.1.5.1 Gelatinización**

Cuando el almidón es sometido a altas temperaturas durante el proceso de cocción en exceso de agua se causa su gelatinización; con ello los almidones gelatinizados se retrogradan, especialmente durante el proceso de enfriamiento y posterior almacenamiento (Salgado-Ordosgoitia y otros, 2019). La gelatinización es una fase de transición que corresponde a la destrucción de la estructura cristalina, hinchamiento de los gránulos de almidón, solubilidad molecular, estos cambios son debidos a la temperatura y esfuerzos (Gonzalez Velez, 2011).

### **2.1.5.2 Retrogradación**

La retrogradación hace referencia al comportamiento de recristalización de la amilosa durante el enfriamiento y almacenamiento de almidones gelatinizados, durante la retrogradación hay una pérdida de humedad del almidón. El grado de retrogradación depende de varios factores, como el tipo de almidón y su concentración y temperatura de almacenamiento, la proporción de amilosa y amilopectina; así como las variaciones moleculares de las mismas, también influyen sobre la claridad u opacidad de las soluciones (Solarte-Montúfar y otros, 2019).

### **2.2 Almidón de plátano macho**

El plátano macho (*Musa paradisiaca* L) es cultivado principalmente en Veracruz, México. El almidón se extrae de diversas fuentes naturales, en la cual se realiza en método de extracción en seco o húmedo generando diversas propiedades, dependiendo de la aplicación que se utilizara para la elaboración de películas, el almidón del plátano macho verde o inmaduro. Para la obtención del almidón de plátano, se necesitan las siguientes operaciones unitarias: lavado, pelado, corte de la pulpa, inmersión en solución ácida para evitar oxidación de la pulpa, molienda en húmedo, secado de la pasta de almidón a una temperatura de 40°C, molienda en seco por 10 horas y tamizado (Lambis y otros, 2015).

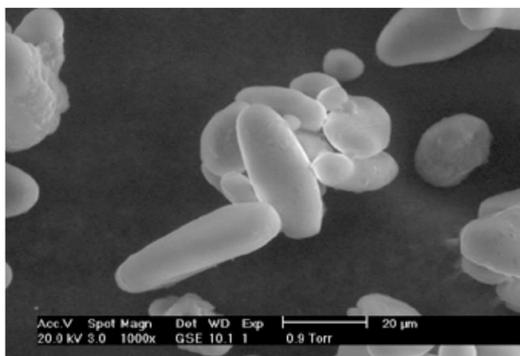
El almidón de plátano macho (*Musa paradisiaca* L) contiene aproximadamente 35% de amilosa lo cual le otorga la capacidad de formación de película (Zamudio-Flores y otros, 2010), motivo por el cual en México se busca aprovechar este tipo de cultivo. El contenido de almidón total en plátano inmaduro posee entre 70% y 80% en base seca, incluso la cáscara posee un 50% de almidón en base seca. Existen variedades como, *Musa paradisiaca* con 73.42% de almidón total y *Musa cavendishii* con 68.13%.

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Su funcionalidad está relacionada con el peso molecular de la amilosa y amilopectina, así como su organización molecular el gránulo (Contreras-Pérez y otros, 2018).

Algunos frutos; como el plátano inmaduro, contiene cantidades importantes de almidón. Además, el almidón destaca sus propiedades relacionadas con la salud humana ya que una parte es indigerible, constituyendo lo que se le conoce almidón resistente el cual es aprovechado por el microbiota intestinal desempeñando un papel importante en la salud humana.

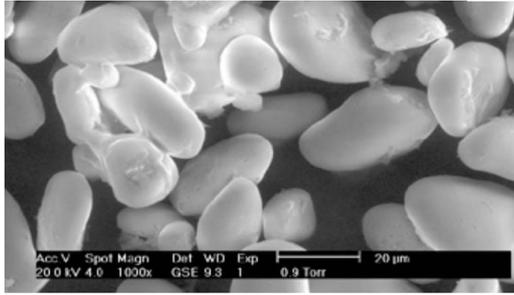
De acuerdo a Contreras-Pérez y otros, (2018), la cual tuvo una concentración se obtuvo en harina ( $4.44 \pm 0.40$ ) y la menor de almidón nativo de plátano ( $1.19 \pm 0.40$ ); en cuanto a la solubilidad del almidón es 42%, el mayor poder hinchamiento fue de 26 g de agua / g de almidón y la absorción de agua en almidón fue 15.3 g de agua / g de almidón, los cuales fueron presentados mayor absorción a 90°C.

Los gránulos del almidón de plátano presentan gránulos con una superficie lisa y pulida dando una apariencia de suavidad con formas irregulares ovaladas y alargadas con un extremo truncado, los gránulos de almidón de plátano presentan un diámetro promedio de  $27.26 \mu\text{m}$  (Figura 3 y 4); (Rendón Villalobos y otros, 2011).



**Figura 2.** Morfología de almidón de plátano

**Fuente:** (Rendón Villalobos y otros, 2011)



**Figura 3.** - Micrografías de almidón.

**Fuente:** (Rendón Villalobos y otros, 2011)

### 2.3 Naranja

México es el quinto productor mundial de naranja, con una producción de más de 4 millones de toneladas al año, los principales estados productores de naranja son el Estado de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, también se produce en los Estados de Nuevo León, Puebla, Yucatán, Sonora, Tabasco, Hidalgo y Oaxaca (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

El estado de Yucatán es uno de los principales productores de naranja (*Citrus sinensis* 'Valencia') a nivel Nacional con una producción de 4,737 toneladas la cual representa el 56.3% de la producción en México (Ramos-Alvarado y otros, 2020).

El valor de la producción de naranja en México se estima en más de seis mil millones de pesos, con un consumo per cápita de 37 kilogramos. Los meses de mayor disponibilidad de naranja son de noviembre a abril, los meses con mayor producción son entre febrero a abril. En lo que se refiere a comercio exterior, las exportaciones de naranja alcanzan un volumen superior a las 49,000 toneladas, las cuales son comercializadas a Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Japón (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

### 2.3.1 Morfología del fruto de naranja

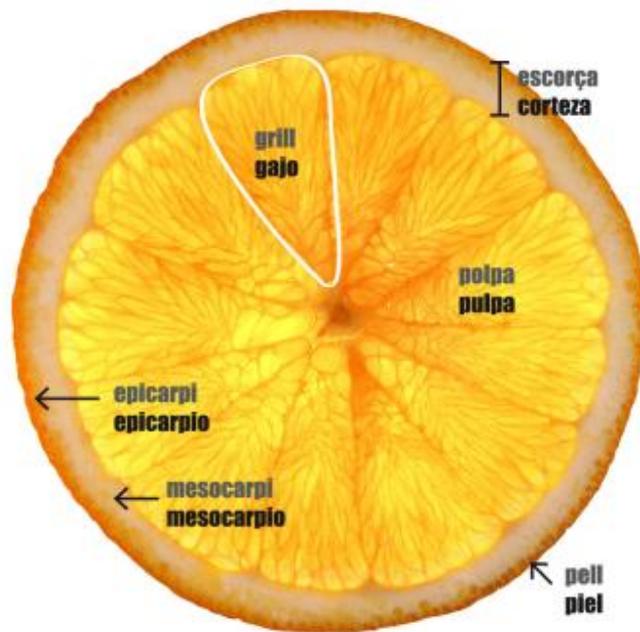
Los cítricos pertenecen a los hesperidios, lo cuales son de tamaño y color variable con la especie y la variedad, su forma puede ser oval, piriforme, esférica achatada o no. La cáscara es gruesa, con una superficie externa lisa o rugosa y cuyo color depende de la temperatura a la que se desarrolla.

La naranja estructuralmente está conformada por:

**El exocarpo o flavedo:** comúnmente llamado epicarpio, cáscara o corteza. Está formado por una epidermis e hipodermis, que es de color verde cuando esta inmadura y color amarillo cuando el fruto ha alcanzado su punto de maduración. Esta parte está compuesta de pequeñas vesículas que contienen aceites esenciales (Miranda-Lasprilla, 2020).

**Mesocarpo o albedo:** esta parte también forma parte de la cáscara de la naranja. Su aspecto es esponjoso y de color blanco, es la parte de la naranja que contiene mayor contenido de pectinas y glucósidos (Miranda-Lasprilla, 2020).

**Endocarpo o pulpa:** es la región más interna y está constituida por los lóculos o gajos. Los lóculos contienen las vesículas de zumo formadas por un cuerpo de células completamente visualizadas y un pedúnculo que las mantienen unidas a la epidermis dorsal de los carpelos y limitadas lateralmente por los septos. En esta parte de la naranja es donde se encuentra la vitamina C, los azúcares y el agua que aporta (Miranda-Lasprilla, 2020).



**Figura 4.** Morfología de naranja

**Fuente:** (Gadgets & Cuina, 2020)

### 2.3.2 Composición química de la naranja

La naranja contiene nutrientes importantes para el ser humano, entre los cuales se encuentran aminoácidos esenciales y compuestos nitrogenados, flavonoides, sustancias pecticas, constituyentes volátiles del sabor, vitaminas C, B6, tiamina, riboflavina, entre otros compuestos fortalecen la circulación y propiedades anticancerígenas del estómago.

En la composición química (Tabla 1), cabe destacar el elevado contenido del ácido ascórbico o vitamina C que contiene. Una naranja de tamaño medio aporta 82 mg de vitamina C, siendo la ingesta diaria recomendable de 60 mg, el consumo de vitamina C favorece la absorción intestinal del hierro. Las naranjas presentan en su composición ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, los cuales son más abundantes. Este último es capaz de potenciar la acción de la vitamina C, favorecer la absorción intestinal del calcio y eliminación de residuos tóxicos del organismo (Valero Gaspar y otros, 2018).

**Tabla 1.** Composición química de la naranja por cada 100 g de naranja

Elementos	Pulpa %	Bagazo %
Agua	88.42	84.15
Lípidos	0.96	4.53
Proteínas	0.85	1.75
Carbohidratos	9.30	9.08
Cenizas	0.42	0.45

**Fuente:** Morales de León y otros, (2016).

### 2.3.3 Bagazo de naranja

Los residuos generados de la naranja son la cáscara y el bagazo, el cual se genera cuando se obtiene el jugo de la fruta. El bagazo es el principal residuo aprovechable de la naranja y equivale al 60% por ciento del peso total de la naranja el cual es desechado a la basura mayormente (Ramos-Alvarado y otros, 2020). El tiempo que requiere el bagazo de naranja en degradarse es de 6 meses; está compuesto por un 95% de materia orgánica, de 80 a 90% de agua, y tiene un pH entre 3 a 4.

El bagazo de naranja es un desecho rico en pectina, celulosa, aceites esenciales, azúcares, compuestos bioactivos (polifenoles) y pigmentos. Su composición fisicoquímica favorece su aprovechamiento biotecnológico. Uno de los principales productos que contiene la cáscara es la pectina, la cual a nivel industrial la pectina se extrae de los residuos de naranja, derivados de la extracción del jugo (Moncayo Lujan y otros, 2018).

### 2.4 Usos del Bagazo de naranja

El bagazo de naranja se puede agregarse a matrices bio-poliméricas, mejorando las propiedades fisicoquímicas de películas, tales como; capacidad de barrera al vapor de agua, capacidad de barrera al oxígeno y propiedades mecánicas (Solano-Doblado y otros, 2018).

Yun & Liu (2022), reportaron que un bajo contenido de polvo de naranja puede incrementar la resistencia a la tracción de las películas, esto se debe a la adhesividad interfacial de las biopelículas entre el polvo de naranja, mejorando las propiedades de barrera, las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica.

La mayoría de veces los residuos (cáscara y las semillas) contienen un alto contenido de pectina y celulosa; además de compuestos bioactivos como polifenoles y aceites esenciales con actividad antioxidante y antimicrobiana. El bagazo de naranja es rico en pectina y se ha adicionado en la matriz para la elaboración de películas de envasado de alimentos, siendo las más convenientes y económicas (Yun & Liu,2022).

#### **2.4.1 Pectina**

La pectina es un polisacárido compuesto por ácido galacturónico. La cual es utilizada en la industria alimentaria por sus propiedades estabilizantes, e incrementa la viscosidad en productos alimenticios y farmacéuticos (Ramírez Gavidia y otros, 2020).

La pectina equivale del 20 al 30% de peso seco de la naranja. Las cáscaras de cítricos obtenidas después de la fabricación de jugos, se consideran la fuente principal para la obtención de pectina mediante una extracción hidrotérmica, en este proceso se utiliza agua acidificada por ácidos inorgánicos fuertes a temperaturas elevadas. La pectina con alto contenido de grupos metoxilo forman geles en condiciones acidas a través de enlaces de hidrógeno e interacciones hidrófobas, en caso de la pectina de bajo metoxilo forma un gel quelando iones de calcio en matrices regulares de cavidades electronegativas formadas por los residuos de ácido galacturónico (Yun & Liu, 2022).

### **2.5 Biopelículas**

#### **2.5.1 Aditivos para la elaboración de películas**

En la elaboración de películas se incorporan diferentes componentes que ayudan a mejorar sus propiedades, entre estos se encuentran el glicerol y sorbitol los cuales actúan como plastificantes, emulsionantes, antioxidantes y reafirmantes. El glicerol y sorbitol han demostrado que son los más eficientes para la aplicación en alimentos para recubrimiento y funcionalidad de las películas; también el uso de altas concentraciones de ambos plastificantes incrementa el porcentaje de elongación. En el caso del glicerol permite mejorar

la flexibilidad, así mismo disminuye la permeabilidad al vapor de agua (Solano-Doblado y otros, 2018).

### **2.5.2 Usos de películas**

Permiten la preservación de calidad de los alimentos; además de servir de empaque. Una película biodegradable tiene una forma de lámina sólida que se permite envolver el producto en sí misma permitiendo tener una reducción de la humedad y la migración de solutos. Su aplicación sirve como barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua, reduciendo la respiración y la pérdida de agua, así también permiten controlar las causas de alteración en los alimentos a recubrir. En casos como las frutas y hortalizas se utilizan para retardar la pérdida de humedad, es necesario una cierta permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para evitar una respiración anaeróbica, que podría inducir desordenes fisiológicas y una rápida pérdida de la calidad y vida de anaquel de los productos (Mederos Torres y otros, 2020). Las biopelículas deben cumplir con ciertos requisitos como;

- Estar libres de compuestos tóxicos
- Que el proceso para su elaboración sea simple
- Mejoran las propiedades mecánicas y preservar la textura del alimento
- Protegen la textura de los alimentos
- Reducen la degradación microbiológica
- Protegen los componentes aromáticos, vitaminas, antioxidantes y reacciones de pardeamiento
- Sensoriamente aceptables (insípido y sin olor)
- Reducir la pérdida de humedad
- Reducir el transporte de gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)
- Mejoramiento en las propiedades mecánicas

### **2.5.3 Biopelículas de almidón**

Cuando se utiliza almidón con alto contenido de amilosa en la elaboración de películas, la película obtenida posee mayor resistencia a la tracción y un menor porcentaje de alargamiento que las películas obtenidas; al agregar glicerol como plastificante, se reduce las fuerzas de atracción entre las moléculas de almidón y el plastificante, lo que da una mayor flexibilidad a las películas, el plastificante es el más eficaz para reducir la estructura rígida y la fragilidad biodegradables, disminuye la tracción y aumenta el alargamiento (Fitriani y otros, 2023).

### **2.5.4 Biopelículas de almidón de plátano macho**

Zapata y otros, (2020), elaboraron películas a partir de almidón de plátano macho verde, reportaron que la humedad de la biopelícula es mayor cuanto menor almidón contiene, por lo cual la concentración del almidón influye en el contenido de humedad de las películas.

Las películas elaboradas con almidón de plátano verde presentaron baja resistencia al agua, bajas propiedades mecánicas y baja actividad microbiana. Uno de los parámetros importantes para el desempeño de las propiedades barrera de las películas es el espesor. En las propiedades mecánicas se registró un mayor esfuerzo de tracción en el corte las cuales son menos rígidas. En la biodegradación al suelo se estimó una pérdida importante de peso, también pueden degradarse en un tiempo mucho menor a los plásticos convencionales.

### **2.5.5 Biopelículas con reforzamiento**

Carmona-García y otros (2019), evaluaron las características físicas y químicas de películas de almidón de malanga reforzadas con nanofibras de celulosa de cáscara de plátano macho, las fibras se sometieron a un proceso de hidrolisis asistido por ultrasonido. Las películas de almidón reforzadas con nanofibrillas de celulosa presentaron una superficie más opaca en comparación con la película elaborada con almidón nativo de malanga, las cuales presentaron superficies homogéneas y lisas; así como, una mayor cristalinidad. Estos autores concluyeron que el uso de nanofibrillas de celulosa obtenidas del raquis de

plátano macho es una fuente potencial para la elaboración de películas con mejores propiedades mecánicas y de barrera para el uso alimenticio.

Rodríguez-Marín y otros (2013), reportaron que la concentración de glicerol tiene efecto importante en las propiedades mecánicas y de barrera en películas independientemente de la fuente de harina, se analizó que el almidón de plátano y harina de arroz podrían ser buenas fuentes para obtener películas con buenas propiedades de barrera. Al comparar las películas de almidón de arroz con las de plátano, las películas de arroz presentaron baja permeabilidad al oxígeno y mayor resistencia a la fractura, lo cual se atribuye al tipo de almidón y al contenido de fibra. En cuanto a las propiedades mecánicas fueron similares con las películas de almidón de plátano.

### **3. Justificación**

El desarrollo de biopelículas de almidón de plátano macho adicionadas con polvo de bagazo de naranja podría ofrecer una alternativa más sostenible en comparación de materiales sintéticos, reduciendo el impacto ambiental asociado con los productos plásticos convencionales. La incorporación de bagazo de naranja podría conferir propiedades antimicrobianas a los alimentos, lo cual sería benéfico para el control de microorganismos en envases de alimentos, podrán tener una combinación adecuada de resistencia y flexibilidad, estas biopelículas podrían ser útiles en una variedad de aplicaciones.

El uso de residuos de naranja para la producción de biopelículas podría generar valor agregado y contribuir con la gestión sostenible, logrando la conservación de alimentos; ya que, podrían mantener la frescura y proteger al alimento de microorganismos no deseados.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

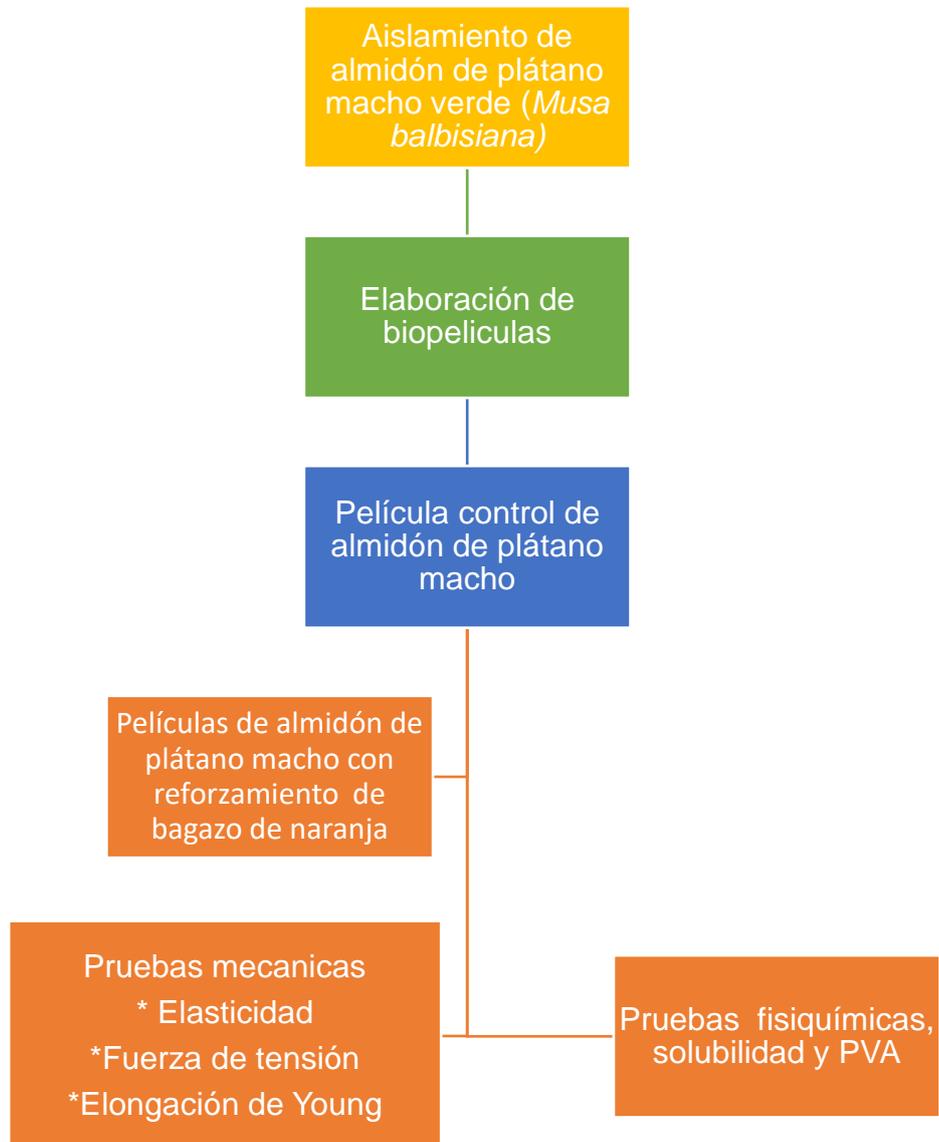
Evaluar las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de películas elaboradas por casting a partir de almidón de plátano macho reforzada con bagazo de naranja.

### **4.2 Objetivos Específicos**

1. Evaluar el efecto del almidón de plátano macho y del polvo de bagazo de naranja sobre las propiedades mecánicas en películas elaboradas por casting.
2. Evaluar el efecto del polvo de bagazo de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas (solubilidad y PVA) de biopelículas a base de almidón de plátano macho.

## 5. Metodología

### 5.1 Diagrama general del proceso de obtención de biopelículas utilizando almidón de plátano macho y polvo de bagazo de naranja



## **6. Materiales y métodos**

### **6.1 Materiales**

El plátano macho (*Musa balbisiana* L) se adquirió de la central de abasto en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Estado de Hidalgo, México. Las naranjas variedad Valencia (*Citrus sinensis* 'Valencia') fueron compradas en la central de abasto en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Estado de Hidalgo, México.

### **6.2 Preparación del polvo del bagazo de naranja**

Para la obtención del polvo de bagazo de naranja; las naranjas se lavaron con agua corriente y se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 200 ppm, posteriormente se cortaron y se exprimieron manualmente para la extracción del jugo, el residuo obtenido conformado por el albedo, flavedo, vesículas carpelares y semillas se cortaron en cuadros de 1 cm<sup>2</sup>, posteriormente se colocaron dentro de una estufa con recirculación de aire a 67 °C por 14 h (Themolyne 9000, USA). El bagazo de naranja deshidratado se sometió a molienda en una licuadora (Oster MBpst02-B00-13), el polvo obtenido se tamizó a un tamaño de partículas de 120 µm; el polvo resultante se almacenó en bolsas de polietileno con cierre hermético hasta su posterior uso (Avila de la Cruz, 2017).

### **6.3 Obtención de almidón de plátano macho**

Para la obtención de almidón se utilizó la metodología de Flores-Gorosquera y otros (2004), con algunas modificaciones. El plátano macho verde se lavó y se eliminó la cascara, posteriormente el plátano sin cáscara se cortó en trozos de 2 a 3 cm de largo, los cuales fueron sumergidos en una solución de ácido cítrico al 0.3% en una relación fruto/solución 1:1.5 (p/v), esto para evitar la oxidación de la pulpa debido al contacto con el oxígeno, la solución que contenía los trozos de plátano se sometió a molienda húmeda en una licuadora de cocina (marca Oster, modelo MBpst02-B00-13) a velocidad máxima, por dos minutos, posteriormente la pasta se pasó por diferentes mallas (20, 40, 100 y 200) en cada malla el residuo obtenido se lavó hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La pasta obtenida se deshidrató en una estufa de convección (SHELLAB, Mod.1380FX) a una temperatura de 40 – 45 °C durante

12 horas; el sólido seco se sometió a la molienda y pasó a un tamiz malla 100 y 200 U.S para eliminar impurezas, posteriormente se almacenó en bolsas de polietileno hasta su posterior uso.

#### 6.4 Diseño experimental

Para la elaboración de las películas de almidón de plátano macho con polvo de bagazo de naranja se utilizó un diseño completamente al azar en el cual el factor que se vario fue la concentración de bagazo de naranja en la formulación (Tabla 2).

**Tabla 2.** Formulaciones probadas para la elaboración de las películas.

<b>Muestra</b>	<b>Almidón de plátano macho (g)</b>	<b>Polvo de bagazo naranja (g)</b>	<b>Glicerol (g)</b>	<b>Agua destilada (g)</b>
<b>BN0</b>	10	0	6.25	250
<b>BN1</b>	10	1	6.25	250
<b>BN1.5</b>	10	1.5	6.25	250
<b>BN2</b>	10	2	6.25	250

BN0=Muestra control, BN1=Bagazo de naranja 1g, BN1.5 =Bagazo de naranja 1.5 g, BN2=Bagazo de naranja 2 g.

#### 7. Elaboración de películas de almidón nativo de plátano macho (*Musa paradisiaca L*) y películas de bagazo de naranja

La formulación utilizada para la elaboración de la película a base de almidón de plátano macho fue 10 g de almidón de plátano, 6.25 g de glicerol (p/p) y 250 mL de agua (Tabla 2). Las soluciones obtenidas para cada formulación se calentaron a 80°C por 10 minutos, posteriormente se enfriaron (40°C) a temperatura ambiente por seis horas y media, la solución fría se vació en placas de vidrio de 22x28.5 cm.

## 7.1 Solubilidad de Biopelículas

La solubilidad de las biopelículas se determinó de acuerdo a Ramos-Alvarado y otros (2020) con algunas modificaciones. El método consistió en cortar las películas en cuadros de 2x2 cm y se almacenaron durante 5 días en un desecador que contenía silica gel, a próximamente a 0% de humedad relativa. Las muestras se pesaron, se colocaron en un vaso de precipitado con 80 mL de agua destilada en agitación baja, durante 1, 3, 5, y 7 horas. Posteriormente, las películas se sacaron del agua y se colocaron en una estufa a 45°C durante 24 h hasta alcanzar peso constante, se tomó el nuevo peso (peso final), para determinar su porcentaje de solubilidad se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Solubilidad \%} = \frac{(\text{peso seco inicial} - \text{peso seco final})}{\text{peso seco inicial}} * 100$$

## 7.2 Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La prueba se realizó de acuerdo al método estándar de ASTM E96 (American Society for Testing and Materials, 2000) con algunas modificaciones. Cada una de las muestras se cortaron en círculos con un diámetro promedio de 7 cm; a cada una de los fragmentos circulares les determinó el espesor con un micrómetro digital (Mitutoyo Digital H-2780) en 10 puntos distintos de cada una de la película recortada, posteriormente se almacenaron a una humedad relativa de 57% durante 48 h, cada una de las muestras circulares se colocaron en una celda con una abertura circular de 0.0002062 m<sup>2</sup> la cual previamente se colocó a una humedad relativa del 75% a una temperatura de 25±2°C. Las películas se colocaron en la parte superior de la celda de aluminio con 16 g de silica gel, fijándolas cuidadosamente con la tapa y se colocaron en un desecador el cual contenía una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) con una humedad relativa de 70%. Se registro el peso cada hora hasta las ocho horas. Se realizo un análisis de regresión lineal para la determinación el coeficiente de trasmisión de vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua.

### **7.3 Propiedades mecánicas**

En las propiedades mecánicas se determinó el esfuerzo máximo a la ruptura (Mpa), porcentaje de elongación (%) y el módulo de Young (Mpa) de las películas de bagazo de naranja. Se realizaron de acuerdo con el método estándar ASTM D-882, para lo cual se utilizó un Texturómetro TA-HDi (*stable micro System, texture analyser*), utilizando una celda de carga de 30 kg. Se cortaron rectángulos de cada película con dimensiones de 12 cm de largo con un 1cm de ancho, las cuales fueron previamente almacenadas durante 48 h a una humedad relativa del 75% en cloruro de sodio (NaCl). Se colocaron entre las pinzas de sujeción con una separación de 8 cm.

### **7.4 Análisis estadísticos**

Los resultados obtenidos en las distintas pruebas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía; para identificar si hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para las respuestas solubilidad, pva y propiedades mecánicas de las películas elaboradas por casting. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Sigma Plot versión 12.5 (SYSTAT Software).

## **8. Resultados y discusión**

### **8.1 Solubilidad**

En la tabla 3, se muestra el porcentaje de solubilidad de las películas elaboradas con almidón de plátano macho (control BN0) y las adicionadas con polvo de bagazo de naranja. De manera general en la tabla se observa que al incrementar el contenido de polvo de bagazo de naranja en las películas también incremento su solubilidad. La película Control (BN0) mostro una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) cuando esta fue comparada con las películas que contenían bagazo de naranja. Las películas con concentración BN2 presentaron la mayor solubilidad (54.02%) en la séptima hora, y el control (BN0) la menor (39.47%), que representa el incremento de los grupos -OH en las películas que contienen bagazo de naranja.

**Tabla 3.** Solubilidad en las biopelículas de bagazo de naranja y almidón de plátano.

Muestra	Solubilidad			
	1 h	3 h	5 h	7 h
<b>BN0</b>	33.59 ± 1.67 <sup>a</sup>	35.88 ± 1.16 <sup>a</sup>	37.19 ± 0.72 <sup>a</sup>	39.47 ± 1.19 <sup>a</sup>
<b>BN1</b>	35.52 ± 0.55 <sup>c, a</sup>	40.06 ± 0.33 <sup>b</sup>	40.72 ± 0.65 <sup>b</sup>	41.17 ± 0.91 <sup>b, a</sup>
<b>BN1.5</b>	40.46 ± 1.13 <sup>d</sup>	42.14 ± 1.13 <sup>c, b</sup>	48.11±1.31 <sup>c</sup>	47.05 ± 1.12 <sup>c</sup>
<b>BN2</b>	42.38 ± 0.71 <sup>b, d</sup>	43.80 ± 1.15 <sup>d, c</sup>	50.77±0.50 <sup>d</sup>	54.02 ± 1.69 <sup>d</sup>

BN0=Muestra control, BN1=Bagazo de naranja 1g, BN1.5 =Bagazo de naranja 1.5 g, BN2=Bagazo de naranja 2 g.

Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25°C) con 75% HR

Medias de un triplicado con cada concentración ± desviación estándar.

Los números representan el efecto de cada concentración de bagazo de naranja usado en las películas por casting. Diferentes letras en las columnas indican diferentes estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

Estudios similares reportaron que el almidón y la adicción de bagazo de otro fruto modifica la amplitud de la banda donde vibran los grupos -OH (Rendón-Villalobos y otros, 2010; Huerta y otros, 2014; Baek y otros, 2019).

Las películas que contenían bagazo de naranja de BN1, BN1.5, BN2 mostraron una solubilidad 41%. Los datos mostraron un incremento en la solubilidad de las películas al adicionar bagazo de naranja, debido a la posible interacción entre los grupos -OH presentes el bagazo de naranja, más los grupos -OH del almidón, podría incrementar la afinidad por el agua, favoreciendo la solubilidad de estas.

Los resultados obtenidos por Huerta y otros, (2014) son similares a los reportados en este estudio, ya que películas en mezcla bagazo de naranja presentaron valores mayores de solubilidad, en la película puede ser debido al tamaño y forma que presenta cada concentración de bagazo de naranja.

## **8.2 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)**

En la tabla 4 se muestran los valores de PVA, donde se observa que la adición del bagazo de naranja afecto este parámetro, se observa una diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre las películas con concentraciones de bagazo de naranja y el control.

Collazo-Bigliardi y otros, (2019); Leites-Luchese y otros, (2021); Tirado-Gallegos y otros, (2023); Rodríguez-Marín y otros, (2013); reportaron un comportamiento similar encontrados en estos estudios, atribuyendo este fenómeno químico a la adición de bagazo de naranja, ya que esto se puede atribuir a la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos funcionales presentes en el bagazo de naranja y el almidón, lo cual reduce los grupos disponibles en la matriz y con ello la velocidad de transmisión de moléculas de vapor de agua.

**Tabla 4.** PVA en las biopelículas de bagazo de naranja y almidón de plátano.

<b>Concentraciones</b>	<b>PVA (g/m-h-Pa)</b>
<b>BN0</b>	3.1430E-10 ± 2.8569E-11 <sup>a</sup>
<b>BN1</b>	7.3288E-10 ± 3.0293E-11 <sup>b</sup>
<b>BN1.5</b>	4.8840E-10 ± 1.3051E-11 <sup>c</sup>
<b>BN2</b>	4.5351E-10 ± 1.6799E-11 <sup>d</sup>

BN0=Muestra control, BN1=Bagazo de naranja 1g, BN1.5 =Bagazo de naranja 1.5 g, BN2=Bagazo de naranja 2 g.

Medias de un triplicado con cada concentración ± desviación estándar

Los números representan el efecto de cada concentración de bagazo de naranja usado en las películas por casting. Medias en las columnas que no tengan la misma letra son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

En este mismo sentido, estudios realizados en películas de almidón de plátano reportaron una ligera reducción numérica en los valores de PVA para ambos procesos al ser comparadas con su respectivo control, atribuyendo este comportamiento a una mejor distribución de la concentración de bagazo de naranja en la matriz de la película, lo que posiblemente dificulte el paso de moléculas en las películas de bagazo de naranja aquí analizadas. La concentración de glicerol tiene mayor efecto sobre la PVA, el cual es directamente proporcional reportado por Rodríguez-Marín y otros, (2013); en donde encontraron que, a pesar de haber obtenido estructuras exfoliadas de los nanocompositos, el glicerol tiene un efecto importante en la absorción de agua. Además, el incremento en la concentración de glicerol aumenta la permeabilidad de las películas debido a la presencia los grupos hidroxilos en cada uno de los carbonos de la molécula del glicerol incrementa su carácter hidrofílico, favoreciendo la adsorción de moléculas de vapor de agua. Existen otros factores no menos importantes que afectan el aumento o disminución de la PVA de las películas, como son el grado de cristalinidad del polímero, la presencia de un plastificante durante su elaboración, el tamaño y forma de la molécula, el espesor y presencia de poros, grietas o fracturas en la película (González-Soto y otros, 2016).

### **8.3 Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas son mostradas en la tabla 5. Las propiedades mecánicas se consideran uno los atributos importantes de los materiales de envasado de alimentos ya que, la capacidad máxima de las películas para resistir el esfuerzo de ruptura aplicado se mide por (N/m), mientras que el porcentaje de la resistencia nos indica máxima a la tracción en comparación de muestra control, es una propiedad mecánica que proporciona información sobre la deformación de un material antes de la rotura. Estas propiedades son importantes en el material de embalaje para proteger los alimentos envasados del deterioro debido a daños mecánicos y mantengan su integridad durante el almacenamiento (Yoplac y otros, 2021).

La adición de bagazo de naranja a la matriz de almidón mejoró las propiedades mecánicas, ya que fue observado un incremento en los valores factor de ruptura,

resistencia máxima a la tracción y módulo de Young en todas las películas, parámetros mecánicos importantes en las características de estas.

Leites Luchese y otros, (2021) registraron las propiedades de las películas elaboradas con residuos de la producción de jugo de naranja, con almidón de yuca en mezcla con cascara de naranja, encontrando que el peso molecular del plastificante (glicerol) afecta las propiedades mecánicas. Ellos reportaron valores para el factor de ruptura y Modulo de Young de  $150 \pm 6.4$  Mpa y  $20 \pm 2$  Mpa, respectivamente, cuando utilizaron glicerol como plastificante. En este estudio se evaluó el efecto de la adición de bagazo de naranja en forma de polvo, sobre las propiedades mecánicas de las películas a base de almidón de plátano macho. En comparación con la muestra de control (BN0), la incorporación de bagazo de naranja resulto en las películas presento una disminución en el alargamiento a la ruptura. Al ser comparada las películas que contenía bagazo de naranja (BN1, BN1.5, BN2) mostraron un incremento en las propiedades mecánicas en comparación con película control, esto puede deberse a que en el bagazo de naranja existe pectina la cual tiene un efecto en propiedades mecánicas. Estos resultados permitieron verificar que el bagazo de naranja influyo en la propiedad mecánica haciendo que las películas fueran más elásticas que la película de control. Un comportamiento similar fue reportado por Baek y otros, (2019) para la adición del bagazo de naranja permitió obtener una matriz más rígida; estas muestras pueden considerarse más frágiles debido al alargamiento significativo en comparación de la película de control.

**Tabla 5. Pruebas mecánicas**

<b>Muestra*</b>	<b>Factor de ruptura (N/m)</b>	<b>Resistencia máxima a la tracción (Mpa)</b>	<b>Alargamiento a la ruptura (%)</b>	<b>Módulo de Young (Mpa)</b>
<b>BN0</b>	72.062 ± 12.445 <sup>a</sup>	34.982 ± 6.041 <sup>a</sup>	32.620 ± 5.000 <sup>a</sup>	2.397 ± 0.574 <sup>a</sup>
<b>BN1</b>	89.414 ± 11.063 <sup>b</sup>	36.970 ± 6.377 <sup>b</sup>	20.700 ± 3.490 <sup>b</sup>	3.457 ± 0.289 <sup>b</sup>
<b>BN1.5</b>	98.572 ± 16.325 <sup>c</sup>	39.39 ± 4.802 <sup>c</sup>	21.120 ± 2.180 <sup>c</sup>	3.984 ± 0.372 <sup>c</sup>
<b>BN2</b>	114.520 ± 11.566 <sup>d</sup>	48.940 ± 4.940 <sup>d</sup>	22 ± 3.230 <sup>d</sup>	4.500 ± 0.306 <sup>d</sup>

BN0=Muestra control, BN1=Bagazo de naranja 1g, BN1.5 =Bagazo de naranja 1.5 g, BN2=Bagazo de naranja 2 g.

Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25°C)

Medias de 15 repeticiones ± desviación estándar

Los números representan el efecto de cada concentración de bagazo de naranja usado en las películas por casting.

Medias en las columnas las letras indican las diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ).

Sánchez Aldana y otros, (2014) evaluaron la formación de películas con extractos pécticos y aceite esencial de limón reportando que a bajas concentraciones de glicerol el factor de ruptura de las películas es mayor. Este comportamiento ya ha sido reportado por varios autores, el incremento de plastificantes reduce las fuerzas intermoleculares con lo que aumenta factor de ruptura y disminuye el alargamiento de ruptura de los materiales. La mayor resistencia de la película con reforzamiento de bagazo de naranja se da altas concentraciones de pectina y bajas concentraciones de glicerol. Por otro lado, las películas que contienen bagazo de naranja (BN1, BN1.5, BN2) registraron un incremento en los valores de factor de ruptura, resistencia máxima a la tracción, alargamiento a la ruptura y módulo de Young, mostrando una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), (Dalgo-Flores y otros, 2024).

Baek y otros, (2019) reportaron la dependencia del polisacárido con los diferentes plastificantes de diferentes pesos moleculares, apreciando que bajos pesos moleculares producen una mayor plastificación en las películas que altos pesos moleculares, lo que concuerda con los resultados aquí obtenidos.

Por su parte el glicerol tiene un efecto directamente al proporcional al % alargamiento de ruptura, ya que a concentraciones altas de glicerol incrementa el porcentaje de alargamiento de ruptura en las películas, a una concentración alta de glicerol existe una mejor movilidad de las cadenas poliméricas, causando un incremento del espacio entre ellas dentro de la matriz de la película y consecuentemente esto incrementa al porcentaje de alargamiento. Esto indica que el glicerol tiene un efecto significativo en la concentración del almidón de plátano macho (Rodríguez-Marín y otros, 2013).

En términos generales, se sabe que las películas para envase de alimentos requieren una gran flexibilidad a temperatura ambiente para evitar roturas innecesarias durante su uso. Se demostró que las biopelículas del presente estudio, con bagazo de naranja tuvieron respuestas mecánicas adecuadas, se puede decir que el tratamiento que mostro resultados adecuados.

## **9. Conclusión**

La adición de bagazo de naranja en mezclas con almidón de plátano en la elaboración de películas provocó cambios físico-químicos. Las películas que contenían bagazo de naranja presentaron un incremento en los valores de solubilidad. Las propiedades mecánicas fueron mejoradas por la adición de bagazo de naranja. La adición de bagazo de naranja en la elaboración de películas a base de almidón puede ser una alternativa viable para la generación de empaques biodegradables en la industria alimentaria.

## Bibliografía

- Alata Mayhuire, E., Cuadros Huamaní, Y., Miranda Zanardi, L., y Medina de Miranda, E. (2019). Biodegradable Films Produced with Orange Peel and Reinforced by Bacterial Cellulose. *Revista de la Sociedad Química del Perú, LXXX(2)*, 231-241.
- Alata Mayhuire, E., Cuadros Huamaní, Y., Miranda Zanardi, L., y Medina de Miranda, E. (2019). Biopelículas producidas con cascara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Rev Soc Quím, LXXXV(2)*, 231-241.
- Alcivar Gavilanes, M. G., y Carrillo Anchundia, K. L. (2022). Development of a Bioplastic from Banana Peel. *Chemical, Food, and Environmental Engineering, XLII(3)*, 231-.  
<https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- American Society for Testing and Materials (E96). (2000). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. 491-496.
- Badui Dergal, S. (15 de Agosto de 2006). *Química de los alimentos*. Naucalpan de Juárez, Mexico: Química de los alimentos. <https://doi.org/970-26-0670-5>
- Baek, S.-K., Kim, S., y Song, K. B. (2019). Cowpea starch films containing maqui berry extract and their application in salmon packaging. *Food Packaging and Shelf Life, XXII(100394)*.  
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100394>
- Blazek, J., y Copeland, L. (2007). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers, 71(1)*, 380-381.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
- Carmona García, R., Aguirre Cruz, A., García Díaz, E. E., Gloria Tejeda, R., y Alvarez Castillo, A. (2019). Características físicas y químicas de películas de almidón de malanga reforzadas con nanofibrillas de celulosa. *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, VII(1)*, 1610-1615. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4278427>
- Castillo Zúñiga, X., Matías Bartolo, S. J., y Rodríguez Chávez, V. E. (2015). Determinación de almidón total en plátano costillón (*Musa sp*) y de una mezcla de desecho de trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare L*). *Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2-3*.
- Collazo Bigliardi, S., Ortega Toro, R., y Chiralt, A. (2019). Improving properties of thermoplastic starch films by incorporating active extracts and cellulose fibres isolated from rice or coffee husk. *Food Packaging and Shelf Life, XXII(100383)*.  
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100383>
- Con Ramos, V. F., y Paye Zeballos, J. A. (2022). Biopolímeros biodegradables a partir de fuentes de origen vegetal. *Universidad Cesar Vallejo, 8-13*.
- Contreras Pérez, R. K., De la Torre Gutiérrez, L., González Cortés, N., y Jiménez Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátanocuadrado (*Musa balbisiana Colla*). *European Scientific Journal, XIV(30)*, 82-97.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>
- Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., y sol, Q. (2021). Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends in Food Science & Technology, CXVI(1)*, 854-869.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.024>

- Dalgo-Flores, V. M., Cayambe-Criollo, J. D., Rodríguez-Vinueza, V. I., y Tixi-Gallegos, K. G. (2024). Caracterización físico-química en la optimización de la producción de pectina a partir de residuos de naranja (CITRUS SINENSIS) mediante hidrólisis ácida: un enfoque eficiente para su potencial aplicación como agente estabilizante, emulsificante. *Polo del conocimiento*, IX, 2041-2064. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i1>
- Engel, J. B., Ambrosi, A., y Tessaro, I. C. (2019). Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. *Carbohydr Polym*, CCXXV(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115234>
- Fitriani, F., Roil Bilad, M., Aprilia, S., y Arahman, N. (2023). Biodegradable Hybrid Polymer Film for Packaging. *JOURNAL OF NATURAL FIBERS*, XX(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2159606>
- Flores Gorosquera, E., García Suárez, F. J., Flores Huicochea, E., Núñez Santiago, M. C., González Soto, R. A., y Bello Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, LV(1), 86-90. <https://www.researchgate.net/publication/28095151>
- Gadgets & Cuina. (2020). *Pela, ralla y exprime!* <https://www.gadgetsuina.com/blog/es/blogs/pela-ralla-y-exprime-35/>
- Gonzalez Velez, M. A. (2011). Mecanismos de gelatinización del Almidón de maíz. *Universidad de los Andes*, I, 8.
- González-Soto, R. A., Sotelo-Bautista, M., y Gutiérrez-Meráz, F. (2016). PELÍCULAS DE ALMIDÓN DE PAPA OBTENIDAS POR CASTING Y EXTRUSION REFORZADAS CON MONTMORILLONITA DE SODIO MODIFICADA. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, I(2), 627-632.
- Huerta, A., Elizabeth, M., Wong, G., Morales Ramos, L., y Katiushka, A. (2014). Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (cast-films) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y alcohol polivinílico (PVOH). *Microbiología e Inmunología*, IV, 1-2.
- Lambis M, H., Hernández, F., Morales, Y., Marín, L. F., y Pasqualino, J. (1 de Octubre de 2015). *Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano*. <https://www.researchgate.net/publication/303541238>
- Leites Luchese, C., Menegotto Frick, P. J., y Tessaro, I. C. (2021). Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 117(106730). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.>
- León Méndez, G., León Méndez, D., Monroy Arellano, M. R., De La Espriella Angarita, S., y Herrera Barros, A. (9 de Julio de 2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Chemical modification of starches through esterification reactions and their potential use in*, pp. 621-624.
- Mederos Torres, Y., Bernabé Galloway, P., y Ramírez Arrebato, M. Á. (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha

- de los frutos. *Cultivos Tropicales*, XXXI(3).  
<https://www.redalyc.org/journal/1932/193266151009/html/>
- Miranda Lasprilla, D. (2020). *Naranja (Citrus sinensis [L.] Osbeck)*. Bogota, Colombia.
- Moncayo Lujan, M., Reyes Munguia, A., y Carillo Inungaray, M. L. (2018). Aprovechamiento de subproductos agronómicos. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación*, XXIX, 117. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/index.html>
- Morales de León, J. C., Bourges Rodríguez, H., y Camacho Parra, M. E. (2016). *Tables of composition of food and food products (Condensed version 2015)*. Ciudad de Mexico, Mexico: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.  
<https://doi.org/978-607-7797-19-7>
- Morrison, R. T., y Boyd, R. N. (1998). *Química Orgánica* (Quinta ed.). Naulcapan de Juárez, Estado de México, México: Pearson.
- Núñez-Santiago, M. C., Bello Pérez, L. A., y Tecanteb, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 56(1), 65-66.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.12.003>
- Ramírez Gavidia, T. C., González Colmenares, N. M., y Guerrero Pernía, E. K. (2020). Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(2), 84-91. <https://doi.org/10.15649/2346030X.819>
- Ramos Alvarado, M. M., Cadenas González, M. T., Bolio López, G. I., Leo Avelino, G., Maciel Cerda, A., Castañeda Castañeda, C., y Ramos Valencia, J. J. (2020). Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*): Caracterización física, química y estructural. *Agroindustrial Science*, 10(3), 273-278.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085665>
- Ramos Alvarado, M. M., Cadenas González, M. T., Bolio López, G. I., Leo Avelino, G., Maciel Cerda, A., Castañeda Castañeda, C., y Ramos Valencia, J. J. (2020). Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) Caracterización física, química y estructural. *Agroindustrial Science*, x(3), 273-278.  
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.08>
- Rendón Villalobos, R., García Hernández, E., Güizado Rodríguez, M., Salgado Delgado, R., y Rangel Vázquez, N. A. (2011). Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) acetilado a diferentes grados de sustitución. *Afinidad*, LXVII(548), 294-300.
- Rendón-Villalobos, R., García-Hernández, E., Güizado-Rodríguez, M., Salgado-Delgado, R., y Rangel-Vázquez, N. (2010). Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) acetilado a diferentes grados de sustitución. *Afinidad*, LXVII, 294-300.
- Rodriguez-Marín, M. L., Bello Perez, L. A., Yee Madeira, H., y Gonzalez Soto, R. A. (2013). Propiedades mecánicas y de barrera de películas elaboradas con harina de arroz y plátano reforzadas con nanopartículas: Estudio con superficie de respuesta. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, XII(1), 165-176.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382013000100016&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382013000100016&script=sci_abstract)

- Rodríguez-Marín, M. L., Bello-Perez, L. A., Yee-Madeira, H., y González-Soto, R. A. (2013). Propiedades Mecánicas Y De Barrera De Películas Elaboradas Con Harina De Arroz Y Plátano Reforzadas Con Nanopartículas: Estudio Con Superficie De Respuesta. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, XII*, 165-176.
- Salgado Ordosgoitia, R. D., Paternina Contreras, A. L., Cohen Manrique, C. S., y Rodríguez Manrique, J. A. (Agosto de 2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Información tecnológica, XXX(4)*, 95. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>
- Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillón, G. V., y Aguilar, C. N. (2014). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CyTA - Journal of Food, XIII*, 17-25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (10 de Enero de 2017). *Gobierno de México*. México, quinto productor mundial de naranja: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-quinto-productor-mundial-de-naranja>
- Solano Doblado, L. G., Alamilla Beltrán, L., y Jiménez Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas, XXI(2)*, 30-42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Solarte Montúfar, J. G., Díaz Murangal, A. E., Osorio Mora, O., y Mejía España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *SciELO Analytics, XXX(6)*, 36-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Tirado-Gallegos, J., Zamudio-Flores, P. B., Bustillos-Rodríguez, J. C., Acosta-Muñiz, C. H., Calderón-Loera, R., López-Mata, M. Á., Espinosa-Solis, V. (2023). Estudio preliminar de las propiedades físicas y antibacteriales de películas de almidones modificados de avena mezclados con quitosano. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, XXVI*, 197-210. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v26.2072>
- Valero Gaspar, T., Rodríguez Alonso, P., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. M., y Varela Moreiras, G. (2018). *La alimentación española características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta* (Segunda ed.). Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://doi.org/978-84-491-1506-6>
- Yoplac, I., Córdova, P., y Vargas, L. (2021). Propiedades ópticas y mecánicas de biopelículas activas elaboradas con micropartículas de citral. *REVISTA TÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, XLIV*, 12-20. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n1a02>
- Yun, D., y Liu, J. (2022). Recent advances on the development of food packaging films based on citrus processing wastes: A review. *Journal of Agriculture and Food Research, IX(100316)*, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100316>
- Zamudio Flores, P. B., Ochoa Reyes, E., Ornelas Paz, J., Tirado Gallegos, J. M., Bello Pérez, L. A., Rubio Ríos, A., y Cárdenas Felix, R. G. (2015). Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con

betalaínas. *Agrociencia*, XLIX(5), 483-498.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952015000500002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000500002&lng=es&nrm=iso)>

Zamudio Flores, P. B., Vargas Torres, A., Gutiérrez Meraz, F., y Bello Pérez, L. A. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*, XLIV(3), 283-295. <https://doi.org/44:283-295.2010>

Zapata, D., Ludeña, A., Trasmonte, W., y Cabrejos, E. (2020). Biopelícula a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*). *Revista Pakamuros*, VIII(4), 15-30. <https://doi.org/10.37787/e6r93j55>