



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA**  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
**"OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DE HARINA  
DE PLÁTANO DE DESECHO (*Musa x paradisiaca*)"**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**

**ING. GRISELDA RUIZ GARCIA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.C. NORA ALICIA PURATA PÉREZ**

**VILLAHERMOSA, TABASCO**

**SEPTIEMBRE 2019**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

## **TESIS**

**“OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DE HARINA DE PLÁTANO  
DE DESECHO (*Musa x paradisiaca*)”**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA.**

**PRESENTA:  
ING. GRISELDA RUIZ GARCIA**

**MATRÍCULA:  
M10300631**

**DIRECTOR DE TESIS:  
M.C NORA ALICIA PURATA PÉREZ**

**COO-DIRECTOR TESIS:  
M.I.P.A. MARIA BERZABE VAZQUEZ GONZALEZ**

**TUTOR:  
Dr. JUAN MANUEL URRIETA SALTIJERAL**

**VILLAHERMOSA, TABASCO**

**SEPTIEMBRE 2019**

“No os dejéis corromper por un escepticismo estéril y deprimente; no os desalentéis ante la tristeza de ciertas horas que pasan sobre las naciones. Vivid en la serena paz de los laboratorios y las bibliotecas. Preguntaos primero: ¿Qué he hecho por instruirme? y, después, al ir progresando. ¿Qué he hecho por mi patria? Hasta que llegue el día en que podáis sentir la íntima satisfacción de pensar en que de alguna manera habéis contribuido al progreso y bienestar de la humanidad”.

*LOUIS PASTEUR*

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí a lo largo de mi vida, por darme esa fortaleza y entendimiento que tanto le pedí para poder comprender aquello que era difícil e imposible para mí y por el trabajo otorgado con el cual pude solventar esta anhelada maestría, **mamita María** gracias por acompañarme siempre en mi camino, protegerme en las adversidades y nunca dejarme sola.

**A mi amada Madre**, a quien le agradezco todo su apoyo, comprensión y hasta regaños para no desistir en este proyecto. Gracias mami por impulsarme y animarme a dar este paso en mi vida profesional cuando yo dudaba muchas si iniciarlo o no. Te amo y siempre estaré agradecida por ver en mí a una mujer que puede superarse en todos los aspectos de su vida, este logro también es tuyo. **A mi padre** por inspirar e infundir en mí esa superación profesional, a no quedarme atrás y a ser una persona competente. **A mi hermana** quien a pesar de su carácter me anima a no dejarme vencer por los obstáculos y a acompañarme en ocasiones en mis desvelos haciendo su tarea, espero que Yo sea un gran ejemplo para Ti.

**A mi querido esposo** por comprender que esto es un paso muy importante para mí profesionalmente y sobrellevar aquellas ocasiones en que por estar cansada y/o ocupada no hacía la comida o me olvidaba de todos mis pendientes como esposa por estar haciendo tarea o escribiendo. También por soportar mis estados de ánimo cuando éramos novios (ahora también) sobre todo cuando estaba estresada, gracias por estar a mi lado en este recorrido.

**A una gran personita que viene en camino**, gracias mi vida por portarte bien en mi pancita, por soportar mi estrés, mis nervios a la hora de exponer, gracias mi amor por aguantar ese viaje para presentar mi artículo, por tener que estar en continuo movimiento para trasladarme a la universidad y no dormir ni comer a mis horas para

poder terminar la tesis. Nunca olvidare que te decía que iba a trabajar en la computadora y no te movías, pero en la madrugada me dabas pataditas en la madrugada para irnos a dormir.

**A la M.C. Nora Alicia Purata Pérez**, maestra mil gracias por todo lo que me ha enseñado, sin usted no lo habría logrado. Gracias por la paciencia que me tuvo, por explicarme paso a paso como debía de trabajar. Siempre supe desde que estudie la licenciatura que es usted un gran ejemplo como persona y profesionalmente para mí, Dios la bendiga siempre.

**A mis maestros de maestría**, Dra. Roció Antonio Cruz, MI. Alicia Sosa Medina, M.I.P.A. Noemi Méndez de los Santos, M.I.P.A. María Berzabe Vázquez González, M.I.P.A. José Reyes Osorio, Dr. Juan Manuel Urrieta Saltijeral, M.C Roberto Morales Cruz, gracias por todos los conocimientos que compartieron con nosotros. Gracias por compartir la mesa (casi todos los sábados que duro la maestría) y motivarnos a salir adelante profesionalmente.

A mis compañeros de trabajo por animarme a terminar esta meta profesional e impulsarme a ser mejor cada día.

## RESUMEN

Se sintetizaron y evaluaron nuevos biopolímeros basados en tres tipos de harina de plátano: plátano entero, pulpa de plátano y cáscara de plátano, en la preparación de la harina se realizó un tratamiento para evitar el pardeamiento enzimático con metabisulfito de sodio y ácido cítrico, logrando eliminar hasta en un 70% el pardeamiento. La síntesis del biopolímero fue realizada con glicerina ó etilenglicol y ácido acético en un equipo a reflujo por 30 min, el producto de la reacción fue secado de 3 a 5 días a 70 °C. Las películas sintetizadas con etilenglicol mostraron mayor resistencia que las sintetizadas con glicerina. Mediante pruebas mecánicas se determinó que las películas hechas con harina de plátano entero y etilenglicol mostraron la mayor resistencia de hasta 58 N/cm<sup>2</sup> y deformación de 0.85 cm/cm. Mediante pruebas de FTIR se logró demostrar la presencia de los grupos funcionales característicos de los componentes de la harina y del etilenglicol en las películas poliméricas. Las pruebas de biodegradabilidad mostraron que las películas sintetizadas con pulpa de plátano tienen el mayor porcentaje de degradabilidad en la intemperie y en agua con un 47.157 y 42.028 % respectivamente, y las de menor porcentaje de degradabilidad son las películas sintetizadas con cascara de plátano.

## **A B S T R A C T**

New biopolymers selected in threetypes of banana flour were synthesized and evaluated: whole banana, banana pulp and banana peel, in the preparation of the flour a treatment was carried out to avoid enzymatic browning with sodium metabisulfite and citric acid, managing to eliminate up to 70% browning. The synthesis of the biopolymer was carried out with glycerin or ethylene glycol and acetic acid in a reflux kit for 30 min., The reaction product was dried for 3 to 5 days at 70 ° C. Films synthesized with ethylene glycol showed greater resistance than those synthesized with glycerin.

Through mechanical tests it was determined that films made with whole banana flour and ethylene glycol showed the highest resistance of up to 58 N / cm<sup>2</sup> and deformation of 0.85 cm / cm. Through FTIR tests, it was possible to demonstrate the presence of the characteristic functional groups of the flour and ethylene glycol components in the polymer films. Biodegradability tests showed that films synthesized with banana pulp have the highest percentage of weather and weather degradability with 47,157 and 42,028% respectively, and those with the lowest percentage of degradability are films synthesized with banana peel.

# ÍNDICE

	Página
Índice de figura.....	XI
Índice de tablas.....	XIII
Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Introducción .....	1
<b>Capítulo I Fundamento Teórico .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Polímeros .....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Antecedentes de los polímeros .....	5
1.1.2 Definición de polímeros .....	5
1.1.3 Estructura molecular.....	6
1.1.4 Polimerización .....	7
1.1.5 Clasificación de los polímeros de acuerdo a su origen .....	8
1.1.6 Propiedades de los polímeros.....	9
<b>1.2 Biopolímeros.....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Antecedentes.....	10
1.2.2 Degradación de los biopolímeros.....	11
1.2.3 Síntesis de biopolímeros.....	12
1.2.4 Plastificantes.....	12
1.2.5 Modificadores químicos.....	14
<b>1.3 Plátano (Musa x paradisiaca) .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Clasificación taxonomía.....	15
1.3.2 Generalidades.....	16
1.3.3 Principales usos del plátano.....	16
1.3.4 Plátano en Tabasco.....	18
1.3.5 Plátano de desecho .....	18
<b>Capítulo II Metodología .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Recolección del plátano de desecho (musa x paradisiaca) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Obtención de la harina.....</b>	<b>22</b>



<b>2.3 Obtención del biopolímero</b> .....	<b>24</b>
2.3.1 Metodología general para la obtención del biopolímero.....	<b>25</b>
<b>2.4 Caracterización de las películas</b> .....	<b>27</b>
2.4.1 Pruebas mecánicas.....	<b>27</b>
2.4.2 FTIR.....	<b>27</b>
2.4.3 Biodegradabilidad.....	<b>28</b>
2.4.3.1 Degradabilidad en intemperie.....	<b>28</b>
2.4.3.2 Degradabilidad por agua.....	<b>29</b>
<b>Capítulo III Resultados</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 Obtención de la harina</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2 Obtención del biopolímero</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3 Caracterización de la película</b> .....	<b>34</b>
3.3.1 Ensayo de tensión.....	<b>34</b>
3.3.2 FTIR.....	<b>39</b>
<b>3.4 Biodegradabilidad</b> .....	<b>45</b>
3.4.1 Degradabilidad en intemperie.....	<b>45</b>
3.4.2 Degradabilidad en agua.....	<b>45</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>47</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>48</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>49</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.1.</b> Estructuras de moléculas en polímeros.....	6
<b>Figura 1.2.</b> Diferentes estructuras de copolímeros.....	7
<b>Figura 1.3.</b> Ejemplos de polímeros naturales.....	8
<b>Figura 1.4.</b> Termoplásticos y termorrígidos.....	9
<b>Figura 1.5.</b> Efectos de la adición de diversos plastificantes sobre las propiedades mecánicas de películas de almidón.....	14
<b>Figura 1.6.</b> Esquema general de la planta de plátano.....	15
<b>Figura 2.1.</b> Macrolocalización del sitio de recolección.....	22
<b>Figura 2.2.</b> Pelado y cortado del plátano.....	23
<b>Figura 2.3.</b> Secado.....	24
<b>Figura 2.4.</b> Equipo para síntesis del biopolímero.....	25
<b>Figura 2.5.</b> Probetas de biopolímero para las pruebas mecánicas.....	27
<b>Figura 2.6.</b> Pruebas de degradabilidad.....	28
<b>Figura 3.1.</b> Harinas de plátano PE, PP y CP con tratamiento.....	32
<b>Figura 3.2.</b> Película sintetizada con harina sin tratamiento.....	32
<b>Figura 3.3.</b> Película sintetizada con harina tratada.....	33
<b>Figura 3.4.</b> Gráfica esfuerzo- deformación de la película PE08.....	35
<b>Figura 3.5.</b> Gráfica esfuerzo- deformación de la película PP12.....	36
<b>Figura 3.6.</b> Gráfica esfuerzo- deformación de la película PP11.....	37
<b>Figura 3.7.</b> Gráfica esfuerzo- deformación de la película PE11.....	39
<b>Figura 3.8.</b> Espectro IR de la harina de cascara de plátano.....	40
<b>Figura 3.9.</b> Espectro IR de la harina de pulpa de plátano.....	41
<b>Figura 3.10.</b> Espectro IR de la harina de plátano entero.....	41
<b>Figura 3.11.</b> Espectro IR de la película CP13.....	42
<b>Figura 3.12.</b> Espectro IR de la película PE13.....	43
<b>Figura 3.13.</b> Espectros IR de las harinas de CP, PP Y PE.....	43
<b>Figura 3.14.</b> Espectros IR de las películas CP13 y PE13.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.1.</b> Estados productores de plátano durante 2017.....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.1.</b> Inmersión del plátano de desecho en la solución preparada.....	<b>23</b>
<b>Tabla 2.2.</b> Reactivos para la síntesis del biopolímero.....	<b>26</b>
<b>Tabla 3.1.</b> Rendimiento de la harina de plátano.....	<b>31</b>
<b>Tabla 3.2.</b> Esfuerzo y deformación de la película PE08.....	<b>35</b>
<b>Tabla 3.3.</b> Esfuerzo y deformación de la película PP12.....	<b>36</b>
<b>Tabla 3.4.</b> Esfuerzo y deformación de la película PP11.....	<b>37</b>
<b>Tabla 3.5.</b> Esfuerzo y deformación de la película PE11.....	<b>38</b>
<b>Tabla 3.6.</b> Degradabilidad en intemperie.....	<b>45</b>
<b>Tabla 3.7.</b> Degradabilidad en agua.....	<b>46</b>

## INTRODUCCIÓN

Para 2050 habrá más plásticos que peces en los océanos a menos que dejemos de utilizar artículos de un solo uso elaborados con este material, como las bolsas y las botellas (ONU, 2017). Cada minuto se compran un millón de botellas de plástico y, al año, se usan 500.000 millones de bolsas. Ocho millones de toneladas acaban en los océanos cada año, amenazando la vida marina (ONU, 2019). En el 2014 solo en México se consumieron 234 litros de agua por persona, lo que generó 21 millones de botellas de PET al día, de las cuales sólo se recicló el 20 por ciento.

Tan preocupante es la problemática por la generación de residuos en este país que en el 2017 la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales analizó reformas a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, a fin de regular el manejo de envases y embalajes de politerftalato de etileno (PET), debido a que 90 millones de botellas de refrescos y de agua, hechos con este material, son lanzados a la vía pública, carreteras, bosques, playas, ríos y mares (SEMARNAT 2017).

Los plásticos requieren de muchos años para poder degradarse según su presentación: Botella 500 años en degradarse, Cubiertos 400 años, Popote 100 años, Vaso 65-75 años y las Bolsa 55 años.

Es importante destacar que en México se cuenta con estadísticas preliminares del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de 2013 a 2016, que la producción de plátano en el país creció en 270 mil toneladas, lo que representa un incremento de 12.9 por ciento en cuatro años (SIAP, 2017). La SAGARPA informó que en 2016 se obtuvo un volumen de 2.4 millones de toneladas de este fruto. (SAGARPA 2017).

En México los principales productores de plátano son: Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima y Jalisco con una producción nacional de plátano en el año 2017 de 2.2 millones de toneladas. Tabasco produjo 599.504 toneladas de plátano en el año 2017 (SIAP, 2018).

Tabasco cuenta con grandes extensiones de producción de plátano, sin embargo, al desecho de este no se le da ningún uso, por lo tanto, utilizarlo para la generación de un polímero biodegradable sería una excelente alternativa para sustituir el consumo

de plásticos en la región por estos biopolímeros y así disminuir el uso de plásticos, disminuyendo considerablemente la contaminación hacia el medio ambiente.

Durante el corte, desinfección y embalaje del plátano, se generan muchos residuos, algunos investigadores reportan hasta el 20% de la producción que se desecha debido a que estos no cumplen con los estándares de calidad.

Alarcón y Barajas (2010) determinaron la viabilidad de sintetizar biopolímeros para ser aplicados en el desarrollo de empaques agroindustriales, se descartaron los biopolímeros obtenidos a partir del almidón de maíz, de procesos de secado y los obtenidos por medio de la fermentación, siendo viables 9 biopolímeros obtenidos por medio del proceso de cocción y secado natural a partir de almidón de papa y yuca.

Mazzeo y col., (2010) desarrollaron una investigación para aprovechar el residuo de cosecha y postcosecha del plátano mediante procesos que se puedan industrializar para obtener productos alimenticios (harinas) y no alimenticios (papel) para darle un mayor valor agregado al cultivo de plátano Dominico-Hartón en el departamento de Caldas.

Alarcón y Arroyo (2014) lograron obtener biopolímeros a partir de los almidones extraídos de la papa amarilla, papa blanca y papa huaura y la variedad de yuca amarilla, mediante espectroscopia IR determinaron que los almidones de papa y yuca son del mismo tipo; las pruebas demostraron que es necesario realizar un tratamiento térmico a otras temperaturas para mejorar las propiedades mecánicas de la película.

Soto y col., (2014) Obtuvieron un polímero biodegradable a partir de almidón de trigo al procesar las mezclas de almidón con buena consistencia, sin embargo, los resultados de espectroscopia infrarroja y microscopia para ver las características de los enlaces, así como morfológicas del polímero obtenido están en proceso.

Después de seguidas investigaciones en el 2015 se elaboró un bioplástico a partir del almidón de maíz el cual al ser evaluada su biodegradabilidad, propiedades fisicoquímicas y mecánicas se comprobó que bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa el plástico se degrada en tres meses según los registros de la prueba de biodegradabilidad. De igual forma mencionan que es un material débil a la resistencia tensil y, por ese motivo no es apto para aplicaciones que requieran una alta

resistencia a la compresión. Sin embargo, puede usarse como material de empaque si este no se expone a altas temperaturas. (García 2015).

Castillo y col., (2015) lograron un biopolímero con características y propiedades favorables, esto como resultado del almidón extraído de las cascaras de plátano mezclado con agua, vinagre y glicerina, sin embargo, uno de los factores que afectó negativamente al bioplástico fue la temperatura de secado, dichos cambios térmicos hacen que el bioplástico resulte corrugado, para evitar esto, recomiendan que el secado sea realizado a una temperatura constante.

Con este proyecto se busca sintetizar un biopolímero a partir de plátano de desecho con características suficientes de tensión y resistencia para ser usados como empaque, buscando que su reincorporación a la naturaleza al ser desechado sea rápida y minimizando de esta manera el impacto ambiental negativo que generan los plásticos.

## **Capítulo I**

# **FUNDAMENTO TEÓRICO**

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Polímeros

En la actualidad, los utensilios más usuales en la cotidianidad del ser humano son los constituidos por materiales plásticos. Los equipos de cualquier área desde un hospital hasta un área educativa o de diversión están compuestos, recubiertos y/o realizados con maquinaria formada por plásticos. Se podría decir, indudablemente, que el ser humano depende de estos materiales.

Los Polímeros como Ciencia independiente se desarrollan desde la tercera década del siglo XX. Es una Ciencia frontera con campos como el biológico. Las macromoléculas están presentes en todos los organismos vivos, vegetales y animales. En la actualidad, los Polímeros constituyen también las sustancias químicas que forman los materiales plásticos de tan amplia aplicación (Galego-Fernández y col. 2018).

#### 1.1.1 Antecedentes de los polímeros

En 1860 en los Estados Unidos se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil para la fabricación de bolas de billar debido a que las reservas de este material se agotaban. John Hyatt resulto ser el ganador inventando un tipo de plástico al que llamó celuloide. Este material aun no era lo suficientemente bueno, pero es a partir de este descubrimiento se asentaron las bases para el comienzo de un material de gran importancia para el desarrollo tecnológico (Resendez, 2010).

#### 1.1.2 Definición de polímero

Los polímeros son moléculas de gran tamaño, constituidas por “eslabones” orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos

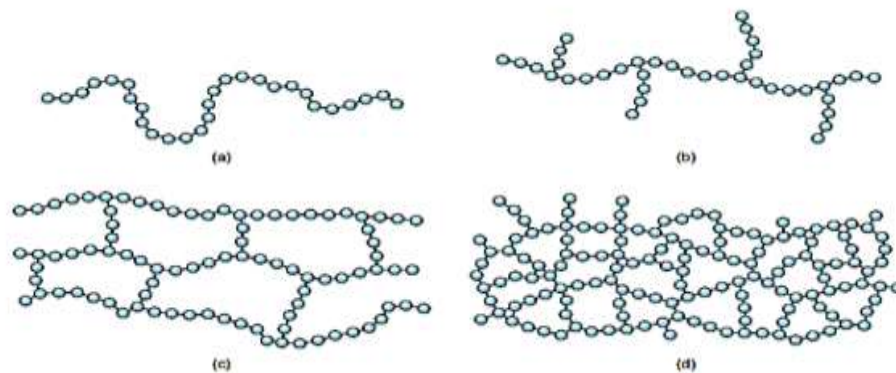


laterales o radicales con uno o más átomos. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.) (Hermida, 2011).

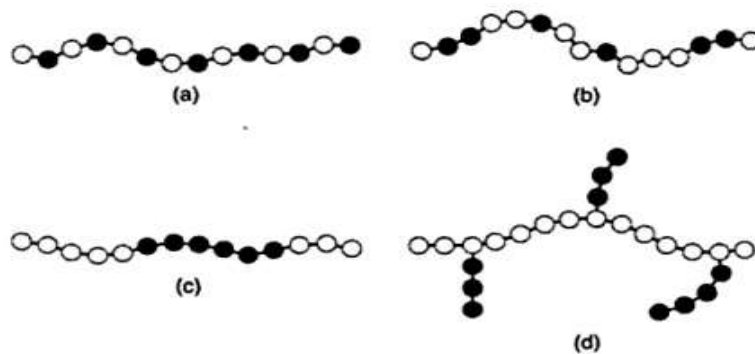
### 1.1.3 Estructura molecular

La estructura química determina en gran parte las propiedades fisicoquímicas del plástico, y por lo tanto su utilidad para determinadas aplicaciones. Los dos factores estructurales esenciales a tener en cuenta son: la naturaleza química del monómero y la forma en que se encuentran enlazados. Por otro lado, los monómeros pueden enlazarse formando largas cadenas lineales o bien formando estructuras ramificadas o estructuras entrecruzadas o reticulares (figura 1.1).

Los copolímeros se producen utilizando dos monómeros, lo que permite una mayor versatilidad a la hora de intentar configurar las propiedades del producto final, pero también puede conferirle una complejidad estructural mucho mayor. Dependiendo del proceso de polimerización y de las fracciones de las unidades monoméricas, es posible obtener cuatro tipos de secuencias en las cadenas (figura 1.2): alternantes, aleatorias, de bloque, de injertos o ramificada (Aguilar, 2017).



**Figura 1.1 Estructuras de moléculas en polímeros. a) lineales, b) ramificados, c) entrecruzados y d) reticulados.**



**Figura 1.2 Diferentes estructuras de copolímeros. a) Alternante, b) Aleatoria, c) Bloque, y d) Injerto.**

### 1.1.4 Polimerización

Los polímeros sintéticos se producen mediante un proceso denominado polimerización, existen dos tipos principales conforme con los tipos de reacciones implicadas en la síntesis:

- Por adición o polimerización por crecimiento de cadena
- Por condensación o crecimiento por pasos

En la Polimerización por adición o polimerización por crecimiento de cadena, la masa molecular del polímero es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. Esta polimerización se genera cuando un catalizador, inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina (Rosales, 2016).

La polimerización por condensación o crecimiento por pasos por pasos se produce por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales. A los compuestos intermediarios de peso molecular bajo se les llama oligómeros, y se pueden aislar. Se le puede describir como una reacción química sencilla que se efectúa repetidamente. Este tipo de polimerización involucra dos reactivos químicos con grupos funcionales que pueden unirse para formar enlaces entre ellos. Se generan pequeñas moléculas tales como agua, metanol o cloruro de hidrogeno como subproductos. Por lo general

la polimerización por condensación se refiere a reacciones entre dos distintos componentes químicos, que poseen al menos dos grupos funcionales que pueden reaccionar con los grupos funcionales de los otros monómeros ó reacciones entre una especie de reactivo químico con dos diferentes grupos funcionales. Un grupo funcional de una molécula reacciona con el otro grupo funcional de la segunda molécula (Hermida, 2011).

### 1.1.5 Clasificación de los polímeros de acuerdo a su origen

**1. Polímeros Naturales.** Son sustancias producidas por organismos vivos que se emplean sin modificación (figura 1.3), existen en la naturaleza muchos polímeros como la celulosa, caucho natural y además los seres vivos están constituidos por macromoléculas biológicas o biopolímeros (proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos) que son estructuras monodispersas muy complejas (Labeaga, 2018).



**Figura 1.3 Ejemplos de polímeros naturales.**

**2. Polímeros Sintéticos.** Los polímeros sintéticos son polímeros que se obtienen de una forma artificial, es decir, son los polímeros creados por el hombre y se dividen en dos categorías según su comportamiento al ser calentados: termoplásticos y termorrígidos (figura 1.4). Ejemplos de estos materiales son el nylon, poliolefinas, poliésteres entre otros (Labeaga, 2018).



**Figura 1.4 Termoplásticos y termorrígidos.**

### 1.1.6 Propiedades de los polímeros

Los polímeros presentan diversas propiedades y estas determinan el uso al que serán sometidos, estas diversas propiedades son (Iguardia, 2013):

**Mecánicas:** las propiedades dependen del esfuerzo que se aplique, de la temperatura a la que se someta y del tiempo que dure la aplicación. La deformación es la suma de deformación elástica y de la plástica.

**Térmicas:** los plásticos tienen una baja conductividad térmica, y cuando un elemento sufre un calentamiento breve, puede alcanzar temperaturas de trabajo superiores a las admitidas teóricamente.

**Eléctricas:** todos los plásticos presentan buenas propiedades dieléctricas y un comportamiento bueno como aislantes eléctricos.

**Químicas:** depende principalmente de la naturaleza química de la propia molécula básica de la cadena. A la hora de seleccionar un plástico para la fabricación de piezas se debe tomar muy en cuenta el medio en el que se va a encontrar.

**Absorción de humedad:** La absorción de agua depende fundamentalmente de la polaridad, que es equivalente a la hidrofilia de los monómeros que forman el polímero. La absorción de agua se especifica en el aumento de peso del polímero después de una permanencia de 24 h.

## 1.2 Biopolímeros

El uso de polímeros sintéticos está provocando grandes estragos ambientales en el mundo, ya que representan el 30% a 40% de los residuos municipales. Actualmente, se está haciendo grandes esfuerzos por desarrollar polímeros biodegradables con el fin de ofrecer alternativas a los polímeros convencionales en aplicaciones tales como empaques para alimentos y bolsas de basura. El uso de polímeros biodegradables tales como almidón pueden ser una solución interesante debido a su bajo costo, abundancia, y fácil biodegradabilidad. La obtención de polímeros biodegradables de la yuca, papa y maíz, pueden generar una opción de mejora ambiental y nuevas oportunidades de desarrollo empresarial, sin embargo, es importante identificar y evaluar el recurso en función al factor socio-económico, así como caracterizar los polímeros biodegradables generados y comparar sus propiedades físicas y químicas para los usos que se pueden dar (Alarcón y col., 2014).

### 1.2.1 Antecedentes

El estudio de los plásticos biodegradables comenzó a partir de los años 70's, con el estudio del almidón y por los 80's se empezó a buscar plásticos, que pudieran ser diseñados y se hicieran susceptibles al ataque microbiológico con la finalidad de ser biodegradables en un ambiente microbiano activo (Hernández, 2013).

La organización Europea de bioplásticos define a un biopolímero como un bioplástico que tiene una base biológica, es biodegradable o tiene ambas propiedades (European Bioplastics, s.f.).

**Base biológica:** el término 'base biológica' significa que el material o producto se deriva (en parte) de la biomasa (plantas). La biomasa utilizada para bioplásticos proviene de, por ejemplo, maíz, caña de azúcar o celulosa.

**Base biodegradable:** la biodegradación es un proceso químico durante el cual los microorganismos disponibles en el medio ambiente convierten los materiales en sustancias naturales como el agua, el dióxido de carbono y el compost (no se necesitan aditivos artificiales). El proceso de biodegradación depende de las condiciones

ambientales circundantes (por ejemplo, ubicación o temperatura), del material y de la aplicación.

### **1.2.2 Degradación de los biopolímeros**

Los biopolímeros son materiales que pueden ser asimilados por varias especies de microorganismos, por lo que son llamados biodegradables. Su degradación se presenta en lapsos de tiempo cortos ya sea en semanas o meses. Se obtienen a partir de sistemas biológicos tales como, plantas, animales y microorganismos, o bien, a partir de la síntesis química de materiales renovables. Se ha comprobado que no presentan un efecto tóxico en el cuerpo humano por lo que son considerados materiales biocompatibles (Velázquez, 2015).

Para que los materiales poliméricos sean considerados biodegradables, es indispensable que contengan en la cadena principal grupos que se puedan romper con facilidad por la acción de agentes externos de la naturaleza física o química.

La biodegradación parcial consiste en la alteración en la estructura química del material y la pérdida de propiedades específicas. Por contra, en la biodegradación total el material es degradado totalmente por la acción de microorganismos con la producción de CO<sub>2</sub> (bajo condiciones aeróbicas) y metano (bajo condiciones anaeróbicas), agua, sales minerales y biomasa. Un cambio físico de biopolímero puede consistir en la decoloración, pérdida del brillo superficial, formación de grietas, superficie pegajosa, erosión superficial y pérdida de propiedades como la resistencia a la tracción y el alargamiento. Y los cambios químicos consisten en la rotura de cadenas, cambios en los sustituyentes laterales, aparición de reacciones de entrecruzamiento, etc. (Rosales, 2016).

Según Labeaga 2018, existen distintas vías de degradación:

**Degradación térmica:** Es un proceso en el que, al aplicar elevadas temperaturas a un polímero, este sufre cambios químicos en su estructura. Normalmente esta degradación se produce conjuntamente con la degradación oxidativa si el material se encuentra en presencia de oxígeno. La degradación térmica se basa por lo tanto en la

ruptura de los enlaces covalentes o de los grupos funcionales del polímero como consecuencia de un aumento de la temperatura.

**Degradación oxidativa:** Este tipo de degradación puede darse simultáneamente con otros mecanismos de degradación, generalmente tiene lugar junto con la degradación térmica. El proceso consiste en un ataque del oxígeno activo sobre el polímero, originando radicales libres en el polímero que dan lugar a reacciones de degradación secundarias.

Degradación hidrolítica: Este tipo de degradación, al igual que en el caso anterior, también suele darse junto con otros procesos degradativos, como por ejemplo la biodegradación.

**Fotodegradación:** Se refiere al proceso de cambios físicos y químicos que sufre un polímero tras ser irradiado con luz en diversos intervalos del espectro electromagnético, como, por ejemplo: el ultravioleta (entre 280 y 400 nm), visible (entre 400 y 700 nm), rayos X, rayos  $\beta$  o rayos  $\gamma$ .

### 1.2.3 Síntesis de biopolímeros

Para lograr obtener un biopolímero a partir del almidón de plátano de desecho, se requiere de ciertos reactivos que al agregarlos a la mezcla aporten las condiciones necesarias que permitan su obtención. Los biopolímeros requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia.

### 1.2.4 Plastificantes

El plastificante es una sustancia normalmente líquida y de viscosidad mayor a la del agua que se adiciona a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares, el efecto plastificante puede ser dado por sustancias como: agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre estos, pero se prefiere utilizar plastificantes

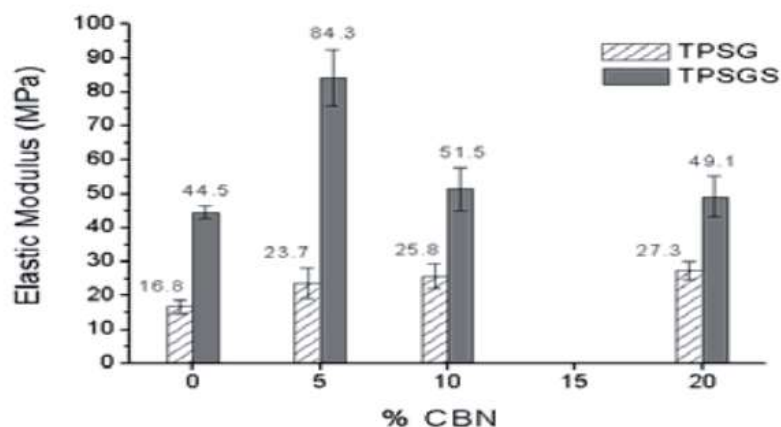
cuya presión de vapor sea baja para evitar que éste se volatilice al finalizar el proceso de extrusión o de calentamiento. La adición de plastificantes disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, cambiando su comportamiento reológico debido a que logra movilizar moléculas, dando plasticidad al material. Los plastificantes solubles en agua como el glicerol son efectivos agentes suavizantes para los almidones, mejorando la flexibilidad de las películas resultantes. Cuanto más se incluye una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación se incrementan mientras que el esfuerzo de ruptura, el módulo de Young disminuye.

Los plastificantes de uso más común son los polioles, especialmente el glicerol o glicerina, el uso de etilenglicol, propilenglicol, butanodiol, sorbitol, manitol, arabitol, monoglicéridos, diglicéridos, derivados del propanodiol y hexanodiol y alditol (figura 1.5).

El glicerol es un alcohol con tres grupos hidroxilo; Estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso. No es tóxico, lo que le permite ser un buen lubricante. Su fórmula es  $C_3H_8O_3$ .

Junto con el agua destilada, el glicerol es el plastificante más comúnmente utilizado en los diferentes estudios que se han realizado sobre la fabricación de polímeros termoplásticos a partir del almidón. Las mezclas que contienen glicerol tienen un aspecto morfológico suave y uniforme. Esta característica es un claro indicador de que el almidón ha plastificado. Este componente presenta una gran utilidad para retardar la retrogradación de los productos termoplastificados y su acción como lubricante facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón (Rosales, 2016).





**Figura 1.5 Efectos de la adición de diversos plastificantes sobre las propiedades mecánicas de películas de almidón: G (glicerol), GS (glicerol/sorbitol).**

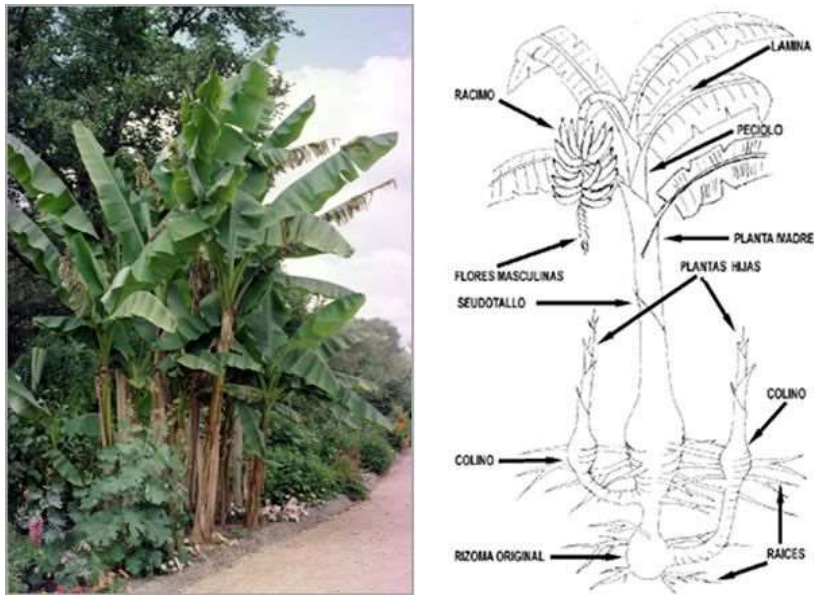
### 1.2.5 Modificadores químicos

La modificación química del almidón está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón, reacciones vía éter, formación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos hidroxilos, son algunas modificaciones químicas aplicables al almidón. En general la esterificación de los polisacáridos con ácidos orgánicos como el ácido acético es una de las transformaciones más versátiles en los biopolímeros. La introducción de un grupo éster en el polisacárido constituye un desarrollo importante debido a que permitirá modificar la naturaleza hidrofílica y obtener cambios significativos en las propiedades mecánicas y térmicas. El ácido acético es recomendado como modificador químico, ya que tiene la propiedad de disminuir el carácter hidrofílico de almidón, brindándole propiedades hidrofóbicas al material (Rosales, 2016).

### 1.3 Plátano (*Musa x paradisiaca*)

El plátano, es uno de los frutos tropicales que ha estado presente en diversas culturas y civilizaciones humanas, durante varios miles de años, ya que se considera una de las primeras frutas que cultivaron los agricultores primitivos.

El plátano (*Musa paradisiaca*) es uno de los cultivos más importantes en la agricultura mexicana, ocupa el segundo lugar de la producción en frutas tropicales, porque es básico en la alimentación, su precio bajo, sabor agradable, disponibilidad todo el año y combinaciones múltiples en la preparación de alimentos. Su estructura (figura 1.6) la conforman el tallo, raíces, hojas, inflorescencia, frutos, planta madre (Solís, 2007).



**Figura 1.6 Esquema general de la planta de plátano.**

### 1.3.1 Clasificación taxonomía

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Liliopsida  
Orden: Zingiberales  
Familia: Musaceae  
Género: Musa  
Especie: *M. x paradisiaca*

### **1.3.2 Generalidades del plátano**

El nombre de plátano, banano o guineo agrupa un gran número de plantas herbáceas del género *Musa*, tantos híbridos obtenidos horticulturalmente a partir de las especies silvestres del género *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. Clasificado originalmente por Carlos Linneo como *Musa paradisíaca* en 1753, la especie tipo del género *Musa*.

Dentro de esta familia se incluyen los plátanos comestibles crudos (*Musa cavendishii*) y los plátanos machos o para cocer (*Musa paradisíaca*).

El plátano tiene su origen en Asia meridional, siendo conocido en el Mediterráneo desde el año 650 D.C. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1516. El cultivo comercial se inicia en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. El plátano macho es propio del Sudoeste Asiático, su cultivo se ha extendido a muchas regiones de Centroamérica y Sudamérica, así como de África subtropical; constituyendo la base de la alimentación de muchas regiones tropicales. El plátano es el cuarto cultivo de frutas más importante del mundo (Anzora 2008).

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. Los países latinoamericanos y del Caribe producen el grueso de los plátanos que entran en el comercio internacional, unos 10 millones de toneladas, del total mundial de 12 millones de toneladas. Es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del sudoeste asiático. Aunque es uno de los cultivos más importantes de todo el mundo, los consumidores del norte lo aprecian sólo como un postre, pero constituye una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales (Ruiz, 2014).

### **1.3.3 Principales usos del plátano**

El gran tamaño de las hojas del banano y su fuerte fibra hace de ellas una fuente importante de tejidos. Las hojas del plátano se emplean como embalajes y envoltorios

sin apenas tratamiento. Se emplean con frecuencia como cobertores naturalmente impermeables para techos de construcciones primitivas, para recubrir el interior de pozos usados para cocinar y como bandejas para la comida. La fibra extraída del procesamiento de las hojas es resistente y durable. Durante el siglo XIX las islas del Caribe, en especial Jamaica, contaban con una floreciente industria textil, basada en el banano fabricando cuerdas, esterillas y utensilios de transporte con ese material. Se fabrica también línea de pesca a partir de esta fibra. En Filipinas se produce una tela llamada agna, delicada y translúcida, a partir de la fibra tierna de hojas y vainas foliares; se emplea en indumentaria masculina y femenina, en la elaboración de pañuelos y otros usos.

Una forma más basta y rústica se emplea en Sri Lanka para alfombras y alpargatas. El pseudotallo también se emplea como mobiliario y material de embalaje durante el transporte de la fruta; los restos o la parte interna de éste, se reintegran al medio ambiente para el reaprovechamiento de sus nutrientes. Cortado en tiras y secado se usa como relleno para almohadones y bancos. De la pulpa del pseudotallo se elabora papel mediante un proceso de machacado lavado y secado; el material resultante es fuerte). La cáscara del fruto es rica en taninos, y se usa en el tratamiento del cuero. Carbonizada se usa como tintura oscura, o por su alto contenido en potasio en la producción de detergentes.

Los efectos medicinales documentados son varios. Las flores se utilizan en emplastos para las úlceras cutáneas, y en decocción para la disentería y la bronquitis; cocidas se usan como alimento nutritivo para diabéticos. La savia, fuertemente astringente, se aplica tópicamente en picaduras de insecto, en hemorroides, y se toma como febrífugo, antidiarreico y antihemorrágico. También es antidiarreico y antidisentérica la ceniza obtenida de quemar las cáscaras y hojas. Las raíces cocidas se consumen para los trastornos digestivos e intestinales. La pulpa y las cáscaras de los plátanos maduros contienen principios activos efectivos contra microbacterias y hongos; se aplican a veces para tratar una micosis común en la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*). El fruto es rico en dopamina, de efecto vasoconstrictor, y serotonina, que regula la secreción gástrica y estimula la acción intestinal.

### 1.3.4 Plátano en Tabasco

La historia de la producción platanera viene desde 1884 cuando empresarios construyeron la primera finca llamada San Julián ubicada sobre los márgenes del río Grijalva. Según datos oficiales de la SIAP Tabasco ocupa el segundo lugar de producción a nivel nacional, por lo tanto, se cuenta con materia prima suficiente para elaborar biopolímeros a partir de harina de este fruto:

**Tabla 1.1 Estados productores de plátano durante 2017.**

Orden	Estado	Producción (ton)
1	Chiapas	688,900
2	Tabasco	599,504
3	Veracruz	206,883
4	Colima	178,487
5	Jalisco	173,503

### 1.3.5 Plátano de desecho

Los residuos son un grave problema para las grandes ciudades y, en definitiva, para el conjunto de la población mundial. Las quemas a cielo abierto y la disposición en tiraderos o vertederos, por ejemplo, provocan problemas como la contaminación, que acarrea enfermedades y daño al ambiente, además de conflictos sociales y políticos.

Los plátanos para la exportación deben estar enteros y duros, exteriormente secos, limpios sin manchas ni grietas, no deben presentar rayas profundas, ni huellas de ataque de plagas y enfermedades (IICA, 2006):

- Verdes, sin madurar.
- Enteros y consistentes.

- Sanos, se excluirán los productos atacados por podredumbres o alteraciones que los hagan impropios para el consumo.
- Limpios, exentos de materias extrañas visibles.
- Exentos de daños producidos por parásitos.
- Con el pedúnculo intacto, sin pliegues ni ataques fúngicos y sin desecar.
- Desprovistos de restos florales.
- Exentos de deformaciones y sin curvaturas anormales de los dedos.
- Exentos de magulladuras.
- Exentos de daños causados por temperaturas bajas.
- Exentos de humedad exterior anormal.
- Exentos de olores o sabores extraños.

En la cosecha del plátano se corta la planta para descender el racimo, generándose como residuos lignocelulósicos el tallo y las hojas. Una vez que el racimo llega a la planta de empaquetado se genera otro residuo, el raquis del racimo. La relación entre residuo y producto de plátano es de 2:1. Los residuos lignocelulósicos se dejan sobre el suelo o se llevan a vertederos a cielo abierto. En el primer caso, contribuyen a mantener la humedad del suelo y aportar materia orgánica, pero suponen un riesgo potencial de diseminación de enfermedades; y en ambos casos se generan gases de efecto invernadero al descomponerse. Además de los residuos lignocelulósicos se genera otro residuo, que es el fruto descartado que no ha logrado alcanzar los estándares de calidad para venta y exportación. El índice de rechazo puede variar entre el 8 y el 20%. Este residuo sirve para alimentación animal, pero la mayoría de los productores prefieren dejarlo descomponerse al aire libre por razones económicas (Universidad Politécnica de Madrid, 2019).

**CAPÍTULO II**  
**METODOLOGÍA**

## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

Este trabajo se realizó en el laboratorio de Investigación II del Instituto Tecnológico de Villahermosa.

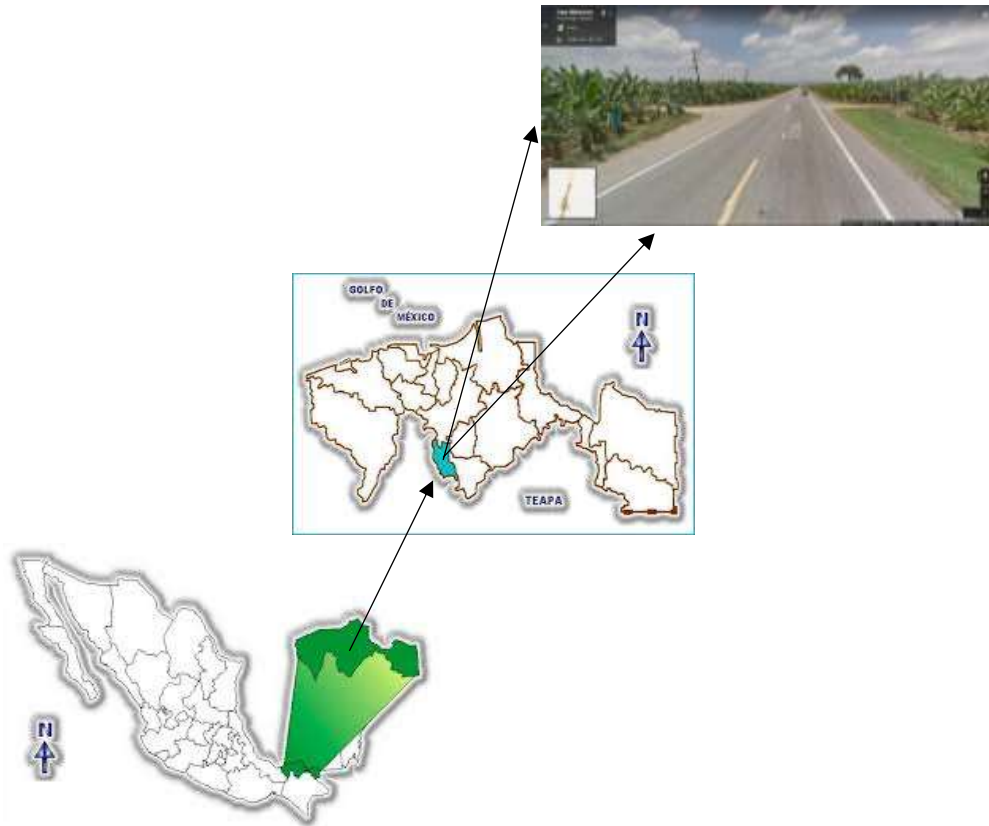
Las primeras síntesis se realizaron con harina de plátano existente en el laboratorio de investigación, de las cuales las películas resultaban demasiado oscuras debido a que la harina no fue tratada para evitar su pardeamiento. Debido a lo anterior, se ejecutó nuevamente la obtención de harina.

### **2.1 Recolección del plátano de desecho (*musa x paradisiaca*)**

Los puntos de recolección fueron en las plataneras del estado de Tabasco, específicamente en las del municipio de Teapa (Figura 2.1), las cuales se encuentran ubicadas sobre la carretera Villahermosa-Teapa. Este municipio es el lugar más alto de Tabasco, pues la ciudad se encuentra a 40 m en su parte más baja y a 72 en la más alta sobre el nivel del mar, por lo que es uno de los lugares más frescos del estado. el clima es cálido húmedo con lluvias todo el año; tiene una temperatura media anual de 27,8 °C, lo que permite las óptimas condiciones para la industria platanera.

El plátano de desecho se obtuvo de los racimos de plátano que se descartaban debido a que estos productos son excluidos si presentan podredumbres o alteraciones que los hagan impropios para el consumo. Estos productos simplemente son enviados a un vertedero provisional de plátanos de desecho los cuales ya no tienen ningún uso.





**Figura 2.1 Macrolocalización del sitio de recolección.**

## **2.2 Obtención de la harina**

**Selección del plátano:** Se seleccionaron los que se encontraban en las mejores condiciones, es decir, que no estuvieran demasiado dañados. Posteriormente se clasifico dependiendo para que tipo de harina se destinaria, harina de plátano entero, harina de pulpa de plátano o harina de cascara de plátano, hasta obtener 3 kg de cada tipo.

**Lavado y desinfectado:** se procedió al lavado con agua y jabón para su posterior desinfección, se sumergieron en una solución preparada de agua con NaClO al 5% por alrededor de 10 min.

**Pelado y cortado:** Se clasificaron los plátanos en 3 grupos dependiendo su aspecto y tipo de harina a la que estaría destinado, 3 kg de pulpa de plátano, 3 kg de cascara de

plátano y 3 kg de plátano entero. Cada grupo fue cortado en rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor (figura 2.2).



**Figura 2.2 Pelado y cortado del plátano.**

Inmersión: Por separado se colocaron los plátanos en una solución preparada de  $C_6H_8O_7$  y  $Na_2S_2O_5$  al 0.1 % durante 5 h. Este procedimiento se llevó a cabo con el fin de evitar el pardeamiento enzimático (oscurecimiento) del plátano (tabla 2.1).

**Tabla 2.1: Inmersión del plátano de desecho en la solución preparada.**

<b>Clasificación</b>	<b>Solución de <math>C_6H_8O_7</math> y <math>Na_2S_2O_5</math> al 0.1 % (g)</b>	<b>Tiempo de inmersión (h)</b>
<b>Plátano entero</b>	25	5
<b>Pulpa de plátano</b>	25	
<b>Cascara de plátano</b>	25	

Secado: Las rodajas del plátano en sus 3 presentaciones fueron colocadas por separado en bandejas de aluminio al sol (figura 2.3) durante 3 días seguidos,

posteriormente fueron colocados en un horno durante 1 día a 40 °C y así completar su deshidratación.



**Figura 2.3 Secado.**

Molienda, Tamizado y Empaque: Se realizó la molienda de las rodajas, se tamizaron con malla de 200 y estas fueron guardadas por separado en bolsas de polietileno de baja densidad con sello térmico.

### **2.3 Obtención del biopolímero**

El procedimiento para la obtención del biopolímero se realizó de la misma manera para los 3 diferentes tipos de harina PE (plátano entero), PP (pulpa de plátano) y CP (cascara de plátano).

#### **2.3.1 Metodología general para la obtención del biopolímero**

En un matraz de fondo plano con la ayuda de un embudo se agregó la harina y el agua destilada, se colocó en la parrilla con agitación y temperatura aproximada de 70 °C durante 5 min. Como siguiente paso se añadió a la mezcla el ácido acético, el etilenglicol/glicerina, los reactivos  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  y el  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  (en algunas síntesis) y se mantuvo la mezcla bajo condiciones de temperatura y agitación constante durante 30 min o hasta observar que la mezcla tenía un aspecto viscoso.

Colocar a reflujo la mezcla durante otros 30 min conservando la temperatura y agitación constante (figura 2.4).



**Figura 2.4 Equipo para síntesis del biopolímero.**

Retirar el equipo y colocar el líquido viscoso obtenido en el cristizador, secar la película en el horno a 40 °C durante aproximadamente de 3 a 4 días.

El procedimiento antes descrito se realizó con las cantidades reportadas en la tabla número 2.2, las variaciones se realizaron de acuerdo a las películas que se iban obteniendo.

**Tabla 2.2 Reactivos para la síntesis del biopolímero.**

	Agua (ml)	Harina (g)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> (ml)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> (ml)	CH <sub>3</sub> COOH (ml)	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g)	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (g)
<b>HARINA SIN TRATAMIENTO</b>							
PE01	50	5	10	-----	20	-----	-----
CP01	50	5	10	-----	20	-----	-----
PP01	50	5	10	-----	20	-----	-----
PE02	50	5	-----	10	20	-----	-----
CP02	50	5	-----	10	20	-----	-----
<b>HARINA CON TRATAMIENTO</b>							
PE03	40	5	10	-----	20	-----	-----
CP03	40	5	10	-----	20	-----	-----
PP03	40	5	10	-----	20	-----	-----
PE04	40	5	-----	10	20	-----	-----
CP04	40	5	-----	10	20	-----	-----
PP04	40	5	-----	10	20	-----	-----
PE05	50	8	10	-----	20	-----	-----
CP05	50	8	10	-----	20	-----	-----
PP05	50	8	10	-----	20	-----	-----
PE06	50	8	-----	10	20	-----	-----
CP06	50	8	-----	10	20	-----	-----
PP06	50	8	-----	10	20	-----	-----
PE07	100	6	-----	20	40	-----	-----
CP07	100	6	-----	20	40	-----	-----
PP07	100	6	-----	20	40	-----	-----
PE08	80	12	-----	22.5	30	2	2
CP08	80	12	-----	22.5	30	2	2
PP08	80	12	-----	22.5	30	2	2
PE09	76	11.5	-----	22.5	25	1.8	1.5
CP09	76	11.5	-----	22.5	25	1.8	1.5
PP09	76	11.5	-----	22.5	25	1.8	1.5
PE10	76	11.5	-----	22.5	25	-----	-----
CP10	76	11.5	-----	22.5	25	-----	-----
PP10	76	11.5	-----	22.5	25	-----	-----
PE11	80	12	-----	25	25	2	2
CP11	80	12	-----	25	25	2	2
PP11	80	12	-----	25	25	2	2
PE12	80	11.5	-----	23	28	2	2
CP12	80	11.5	-----	23	28	2	2
PP12	80	11.5	-----	23	28	2	2
PE13	100	24	-----	50	60	-----	-----
PP13	100	11.90	-----	50	60	-----	-----
CP13	100	11.90	-----	25	25	-----	-----

## 2.4 Caracterización de la película

### 2.4.1 Pruebas mecánicas

Las pruebas de tensión se llevaron a cabo en la máquina universal marca Shimadzu, para su realización se seleccionaron las películas de apariencia más resistentes.

Se procedió a cortar las probetas (figura 2.5) con las siguientes medidas:

Largo= 16.5 cm

Ancho= 1.1 cm

Espesor= 0.1 cm



*Figura 2.5 Probetas de biopolímero para las pruebas mecánicas.*

### 2.4.2 FTIR

Para la realización de esta prueba se prepararon las muestras a analizar, seguidamente se procedió a colocar en el equipo de FTIR, en el cual la computadora que tiene este equipo, posee un software que ayudará a realizar la respectiva toma de

datos y espectro obtenido, donde se hace clic y se espera a que nos dé el espectro deseado.

### 2.4.3 Biodegradabilidad

Las pruebas de biodegradabilidad a las que fueron sometidos los biopolímeros se realizaron de acuerdo al método sugerido por Iguardia (2013). Las pruebas de degradabilidad en intemperie y degradabilidad fueron llevadas a cabo a temperatura ambiente con una duración de 30 días (figura 2.6).



**Figura 2.6. Pruebas de degradabilidad.**

#### 2.4.3.1 Degradabilidad en intemperie

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes sin tapa, colocarlos en un lugar que se encuentre al aire libre. Dejar ahí por 30 días y después pesar las muestras con una balanza analítica. Obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ degradabilidad} = 100 - \left( \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \right)$$

**Ecuación 1**

#### **2.4.3.2 Degradabilidad por agua**

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes apropiados, llenar los recipientes con agua hasta superar la superficie de las muestras. Tapar los recipientes y dejar en reposo absoluto por 30 días, después de transcurrido este tiempo pesar las muestras con una balanza analítica y obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la ecuación 1.



**CAPITULO III**  
**RESULTADOS**

## CAPITULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Obtención de la harina

Mediante el procedimiento descrito en 3.1, se obtuvo la harina de plátano en los tres tipos propuestos: cáscara, pulpa y plátano entero. El rendimiento en masa de la harina se calculó mediante la ecuación 2; donde  $m_i$  y  $m_f$  son las masas inicial y final de la muestra respectivamente; los resultados se muestran en la tabla 3.1.

$$\text{Rendimiento en masa} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

**Tabla 3.1. Rendimiento de la harina de plátano.**

Muestra	Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Rendimiento
Plátano entero		1.6	46.67
Pulpa de plátano	3	1.1	63.33
Cascara de plátano		0.7	76.67

Se realizó el tratamiento anti pardeamiento enzimático con metabisulfito de sodio y ácido cítrico que se describió en el apartado 2.2, la harina obtenida fue notoriamente menos oscura (figura 3.1) en comparación con la harina sin tratamiento que se utilizó al inicio de la realización de las películas.



**Figura 3.1 Harinas de plátano PE, PP y CP con tratamiento.**

### **3.2 Obtención del biopolímero**

Se sintetizaron películas con las harinas de plátano, se utilizó etilenglicol y glicerina como copolímero; las películas obtenidas inicialmente eran demasiado quebradizas y oscuras como se muestra en la figura 3.2; después de repetir el procedimiento bajo las mismas condiciones con la harina tratada los resultados solo cambiaron en el aspecto del color de las películas, su textura continuaba igual que las primeras películas obtenidas.



**Figura 3.2. Película sintetizada con harina sin tratamiento.**

Las películas realizadas con etilenglicol logran mejor textura y mayor resistencia que las realizadas con glicerina, por ello a partir de la síntesis número 6 en adelante todas las síntesis son llevadas a cabo con etilenglicol.

Se optó por aumentar paulatinamente en diferentes síntesis las cantidades de reactivos y harina, con esto se lograron visiblemente películas más resistentes y no quebradizas a comparación de las primeras, aunque al estar la mezcla a altas temperaturas ligeramente se pardeaban las películas (figura 3,3).



***Figura 3.3. Película sintetizada con harina tratada.***

Bajo las condiciones a partir de la síntesis número 8 se confirma que con esas cantidades las películas son más resistentes que las obtenidas en las primeras síntesis. Otro cambio que se realizó para evitar su pardeamiento enzimático fue agregar a la mezcla metabisulfito de sodio y ácido cítrico.

Las síntesis número 11 y 12 fueron las que visiblemente son más resistentes y flexibles, éstas fueron trabajadas bajo condiciones de temperatura y agitación constante.

### 3.3 Caracterización de la película

#### 3.3.1 Ensayo de tensión

Se realizó el ensayo de tensión a la película PE08, con los resultados obtenidos de fuerza y elongación se calculó el esfuerzo y la deformación mediante las ecuaciones 3 y 4; todos los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.2; se elaboró la gráfica esfuerzo-deformación que se representa en la figura 3.4; esta película mostró alta resistencia comparada con las demás ya que soportó una carga máxima de 6.4 N ( $\sigma=58.18 \text{ N/cm}^2$ ), siendo éste mismo valor para el esfuerzo a la fractura. La gráfica muestra la región lineal o elástica hasta los 45 N/cm<sup>2</sup> y la región plástica desde este punto hasta la fractura. La gráfica muestra un comportamiento de plástico (Askeland, 2013).

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \quad \text{Ecuación 3}$$

**Donde:**

**$\varepsilon$ :** Deformación

**$\Delta \ell$ :** Variación de longitud producida

**$\ell_0$ :** Longitud inicial

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \text{Ecuación 4}$$

**Donde:**

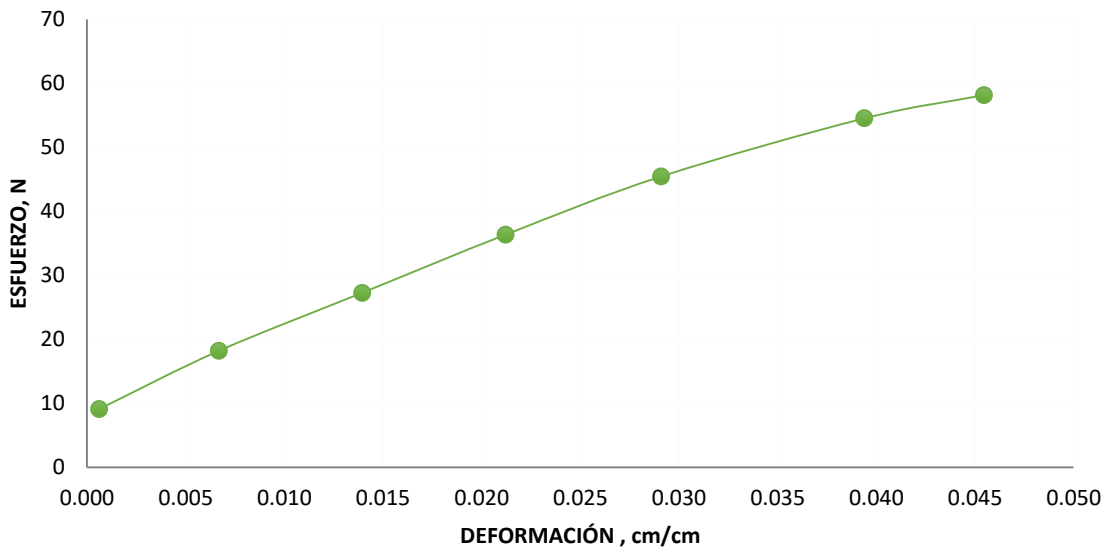
**$\sigma$ :** Esfuerzo

**$F$ :** Fuerza

**$A_0$ :** Área inicial

**Tabla 3.2 Esfuerzo y deformación de la película PE08.**

F (N)	Elongación(cm)	$\sigma \frac{N}{cm^2}$	Deformación (cm/cm)
1	0.1	9	0.001
2	1.1	18	0.007
3	2.3	27	0.014
4	3.5	36	0.021
5	4.8	45	0.029
6	6.5	55	0.039
6.4	7.5	58	0.045

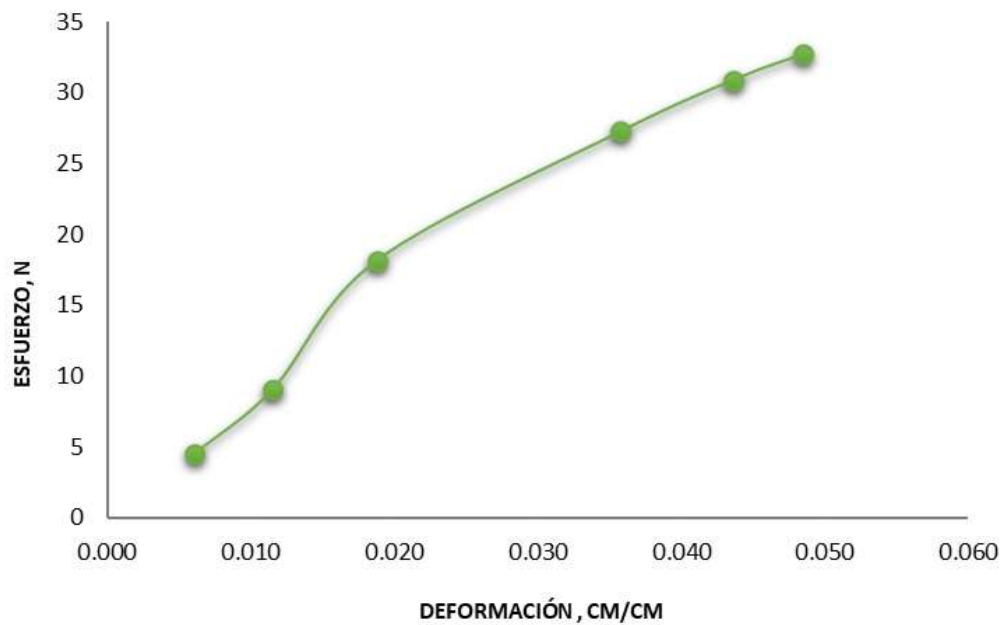


**Figura 3.4 Gráfica esfuerzo- deformación de la película PE08.**

El ensayo de tensión realizado a la película PP12, dió el esfuerzo y la deformación que se muestran en la tabla 3.3; y la gráfica esfuerzo-deformación en la figura 3.5; esta película soporto una carga máxima de 3.6 N ( $\sigma=32.73$ ). esta gráfica muestra la región elástica, el limite elástico y la región plástica, mostrando así el comportamiento de un material termoplástico (Askeland, 2013).

**Tabla 3.3 Esfuerzo y deformación de la película PP12.**

F (N)	Elongación(mm)	$\sigma \frac{N}{cm^2}$	Deformación (cm/cm)
0.5	1	5	0.006
1	1.9	9	0.012
2	3.1	18	0.019
3	5.9	27	0.036
3.4	7.2	31	0.044
3.6	8	33	0.048

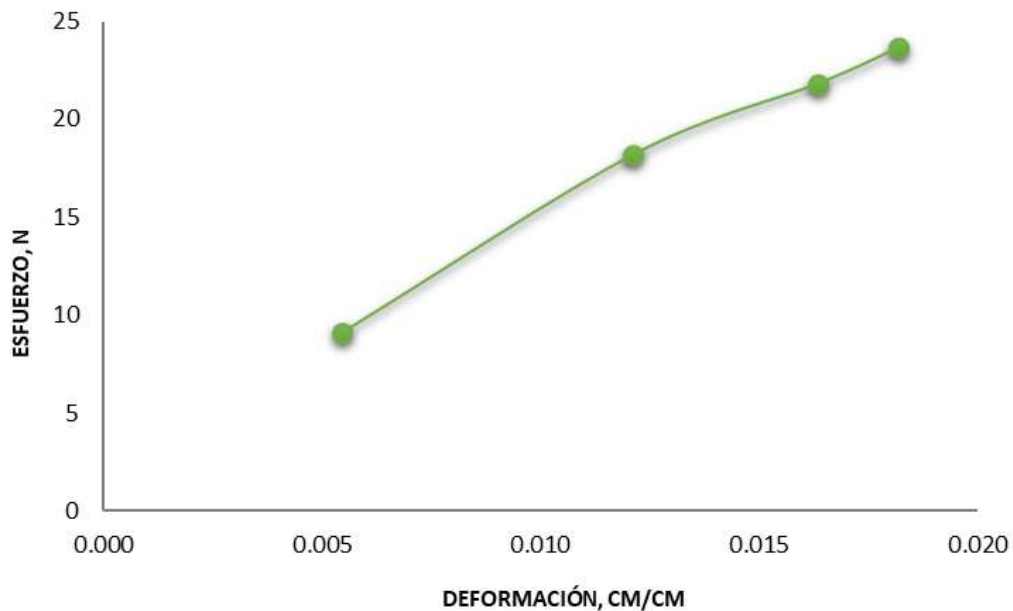


**Figura 3.5 Grafica esfuerzo- deformación de la película PP12.**

Para la película PP11 los resultados se presentan en la tabla 3,4 y la gráfica en la figura 3.6, esta mostró una carga máxima de 2.6 N ( $\sigma=23.633$ ). Presenta un comportamiento bastante elástico en comparación a las demás películas debido a que se aprecia una prolongada línea recta característico de los materiales elásticos.

**Tabla 3.4 Esfuerzo y deformación de la película PP11.**

F (N)	Elongación(mm)	$\sigma \frac{N}{cm^2}$	Deformación (cm/cm)
1	0.9	9	0.005
2	2	18	0.012
2.4	2.7	22	0.016
2.6	3	24	0.018



**Figura 3.6 Grafica esfuerzo- deformación de la película PP11.**

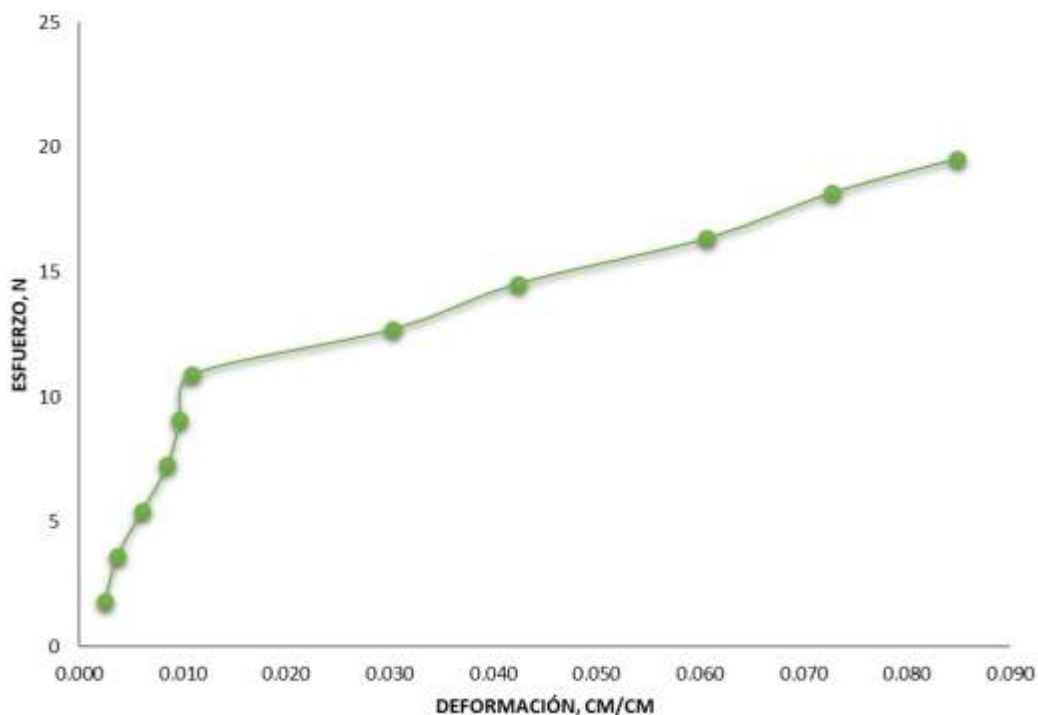
El ensayo de tensión da como resultado una gráfica (figura 3.7) donde se representa el esfuerzo y la deformación de la película PE11 a partir de los valores obtenidos de la tabla 3.5, esta película mostró la más baja resistencia comparada con las demás ya que soporto una carga máxima de 2.15 N ( $\sigma=20$ ), siendo éste mismo valor para el



esfuerzo a la fractura. Sin embargo, fue la película con mayor resistencia a la deformación (Askeland, 2013).

**Tabla 3.5 Esfuerzo y deformación de la película PE11.**

<b>F (N)</b>	<b>Elongación(mm)</b>	$\sigma \frac{N}{cm^2}$	<b>Deformación (cm/cm)</b>
<b>0.2</b>	0.4	2	0.002
<b>0.4</b>	0.6	4	0.004
<b>0.6</b>	1	5	0.006
<b>0.8</b>	1.4	7	0.008
<b>1</b>	1.6	9	0.010
<b>1.2</b>	1.8	11	0.011
<b>1.4</b>	5	13	0.030
<b>1.6</b>	7	15	0.042
<b>1.8</b>	10	16	0.061
<b>2</b>	12	18	0.073
<b>2.15</b>	14	20	0.085



**Figura 3.7 Grafica esfuerzo- deformación de la película PE11.**

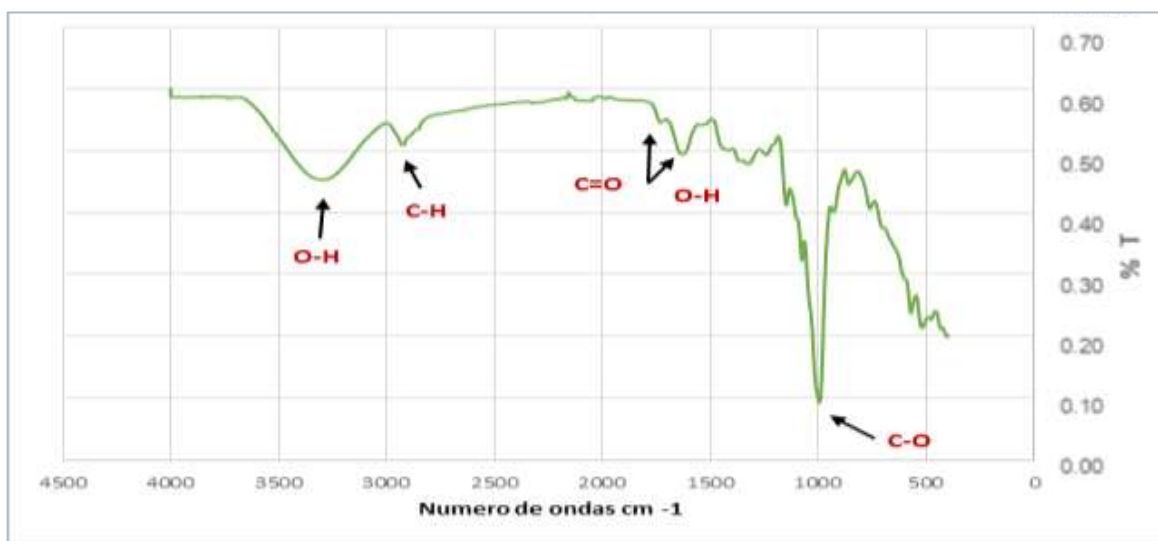
De los resultados anteriores se observa que la película PE08 mostró mayor resistencia en la prueba de tensión con 7.2 N de carga máxima y punto de ruptura de 6.4 N; y la película PE11 resultó ser la más elástica con una elongación de 14 mm y una deformación de 0.08 cm/cm; ambas películas fueron sintetizadas con harina de plátano entero; las películas con harina de pulpa de plátano (PP) mostraron una resistencia media comparadas con las de PE y las de cáscara de plátano (CP) tuvieron muy poca resistencia, con cargas menos de 2 N y elongaciones promedio de 8 mm. En el apéndice A se anexan las capturas de pantalla de todos los ensayos de tensión realizados.

### 3.3.2 FTIR

Se realizó pruebas de espectroscopía de Infrarrojo a las harinas obtenidas (PP, PE y CP) y a algunas de las películas sintetizadas.

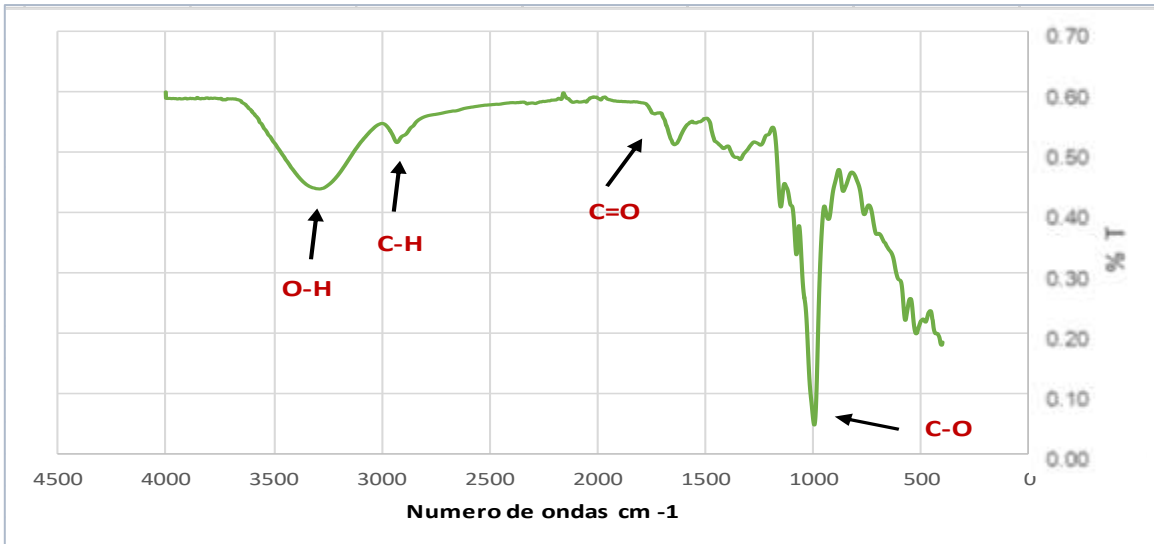
En la figura 3.8 se muestra el espectro IR de la harina de cascara de plátano de desecho (CP). El pico mostrado en  $3380\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones O-H

debido al estiramiento de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos presentes en la pectina, la celulosa y la lignina, lo que permite establecer la presencia de hidroxilos libres. el pico observado en  $2945\text{ cm}^{-1}$  indica un grupo C-H. En  $1798\text{ cm}^{-1}$  se observa un estiramiento debido al grupo carbonilo C=O debido a las vibraciones de los grupos carboxilos de la pectina y la lignina. En  $1670\text{ cm}^{-1}$  se observa un pico que proviene del agua intramolecular contenida en el almidón (vibración por flexión del grupo O-H). En  $1000\text{ cm}^{-1}$  se presenta una banda producto del estiramiento de enlaces C-O que representa el almidón.



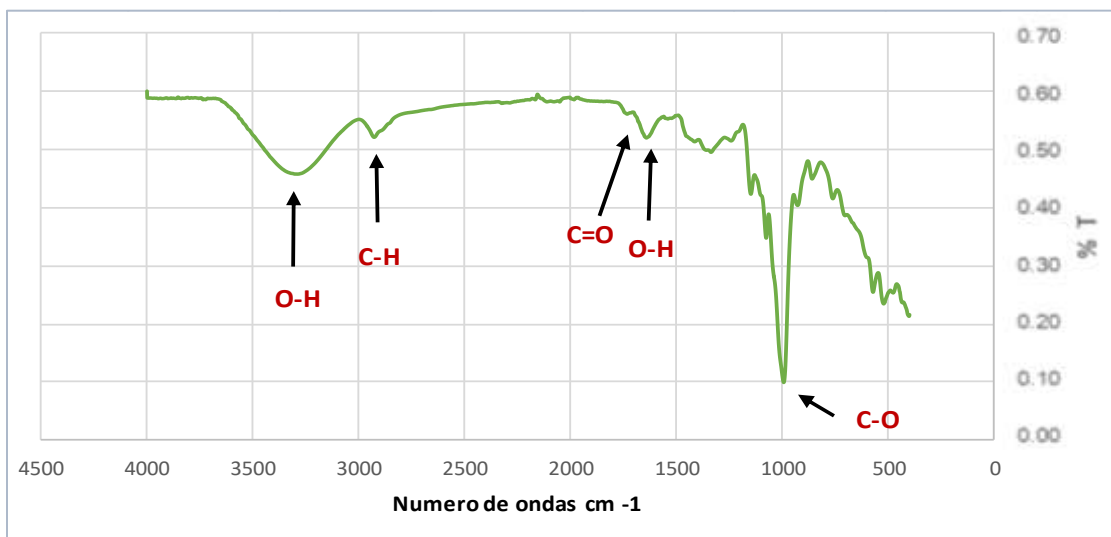
**Figura 3.8 Espectro IR de la harina de cascara de plátano.**

En las figuras 3.8 y 3.10, los picos en  $3290\text{ cm}^{-1}$  indica vibraciones O-H es ligeramente más pronunciado que los espectros IR de cascara y plátano entero. En  $2945\text{ cm}^{-1}$  se encuentra un grupo C-H. En  $1798\text{ cm}^{-1}$  se aprecia muy poco el estiramiento C=O y en  $1670\text{ cm}^{-1}$  se observa que este pico es más similar al del plátano entero (menos pronunciado en comparación a la cascara). En  $1000\text{ cm}^{-1}$  este espectro IR correspondiente a la harina de pulpa de plátano (figura 3.9) representa la banda con mayor estiramiento de enlaces C-O el cual indica un mayor contenido de almidón.



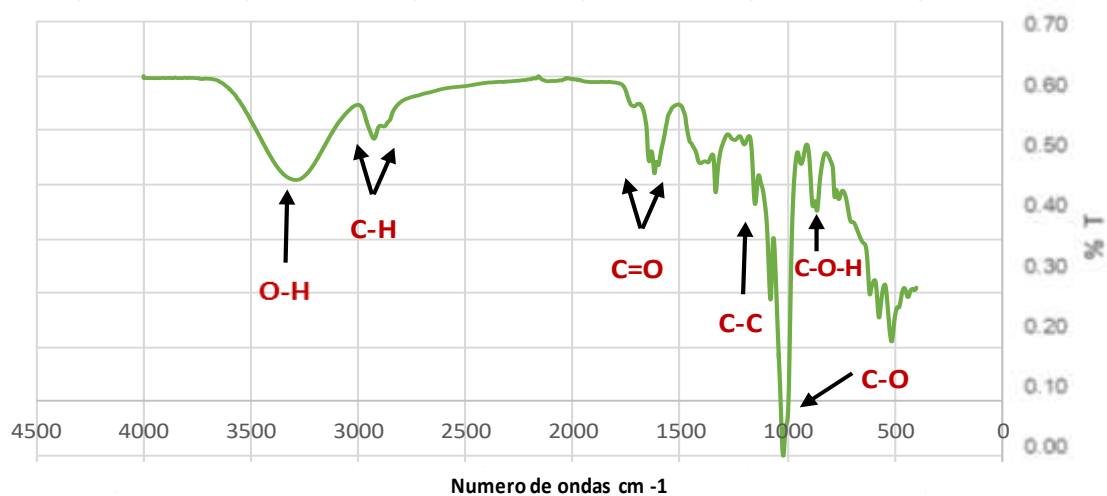
**Figura 3.9 Espectro IR de la harina de pulpa de plátano.**

En la figura 3.10 se presenta el espectro IR de la harina de plátano entero (PE). En 3300 cm<sup>-1</sup> se observa el pico correspondiente a las vibraciones O-H. En 2945 cm<sup>-1</sup> se indica el grupo C-H el cual a diferencia de los espectros IR de la harina de cascara y pulpa, el plátano entero presenta menor alargamiento en este pico. En 1798 cm<sup>-1</sup> se aprecia el estiramiento carbonilo C=O. En 1670 cm<sup>-1</sup> se observa debido a la vibración por flexión del grupo O-H. En 1000 cm<sup>-1</sup> se representa el pico correspondiente al almidón.



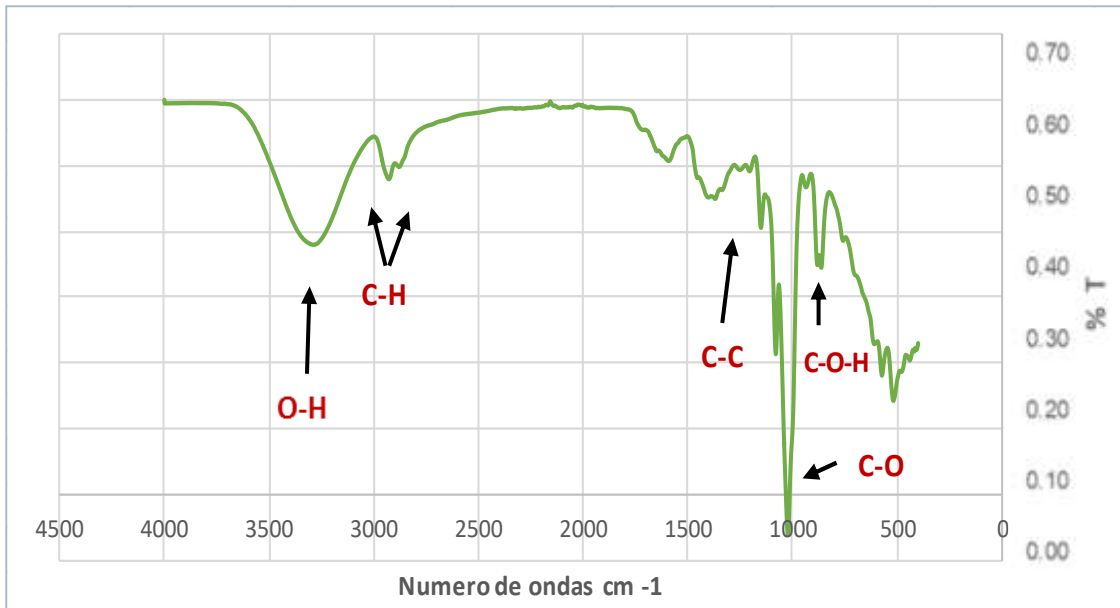
**Figura 3.10 Espectro IR de la harina de plátano entero.**

En la figura 3.11 se muestra el espectro IR de la película CP13, en el pico 2810  $\text{cm}^{-1}$  se observa un estiramiento, el cual corresponde a las vibraciones O-H que indica la presencia de hidroxilos libres. Los ligeros picos ubicados en 2930  $\text{cm}^{-1}$  y 2877  $\text{cm}^{-1}$  se deben al estiramiento C – H de compuestos alifáticos de carbono. En 1700  $\text{cm}^{-1}$  y 1650  $\text{cm}^{-1}$  se muestra la tensión C=O. El pico en 1210  $\text{cm}^{-1}$  es debido al estiramiento C – C del compuesto de carbono alifático. En 1000  $\text{cm}^{-1}$  se presenta una banda producto del estiramiento de enlaces C-O. En 850  $\text{cm}^{-1}$  se observa una flexión C-O-H.

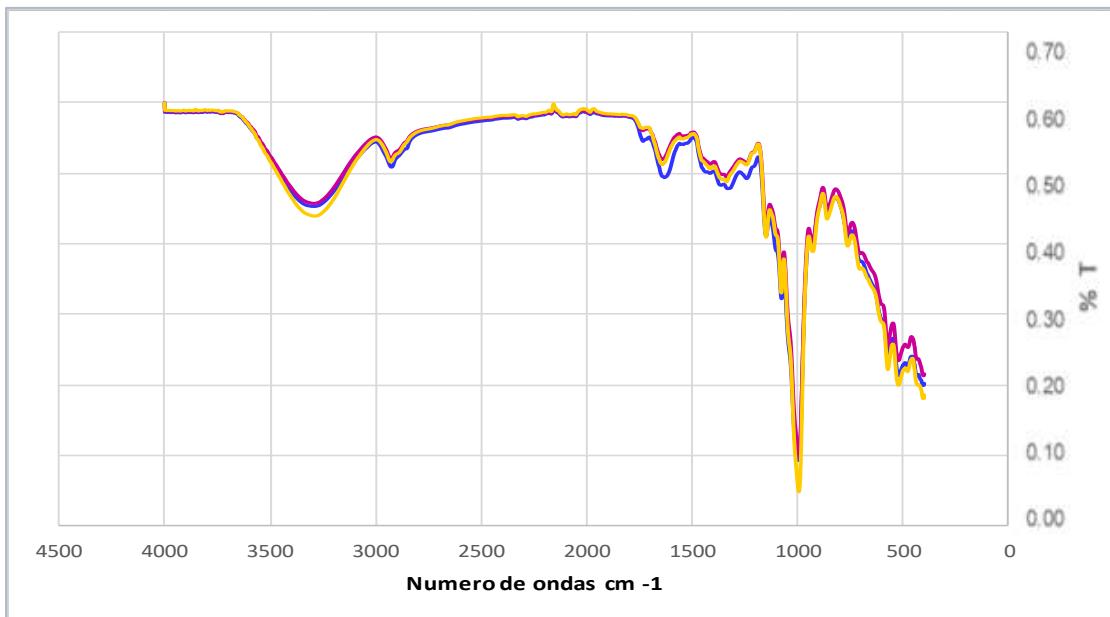


**Figura 3.11 Espectro IR de la película CP13.**

El espectro de IR de la película de plátano entero PE13 que se muestra en la figura 3.12, presenta un comportamiento muy similar a la película CP13 (figura 3.11). sin embargo, esta película no tiene pronunciados los picos en la tensión C=O, aunque si mayor concentración en la banda producto del estiramiento de enlaces C-O que corresponde a la cantidad de almidón presente en la película.



**Figura 3.12 Espectro IR de la película PE13.**

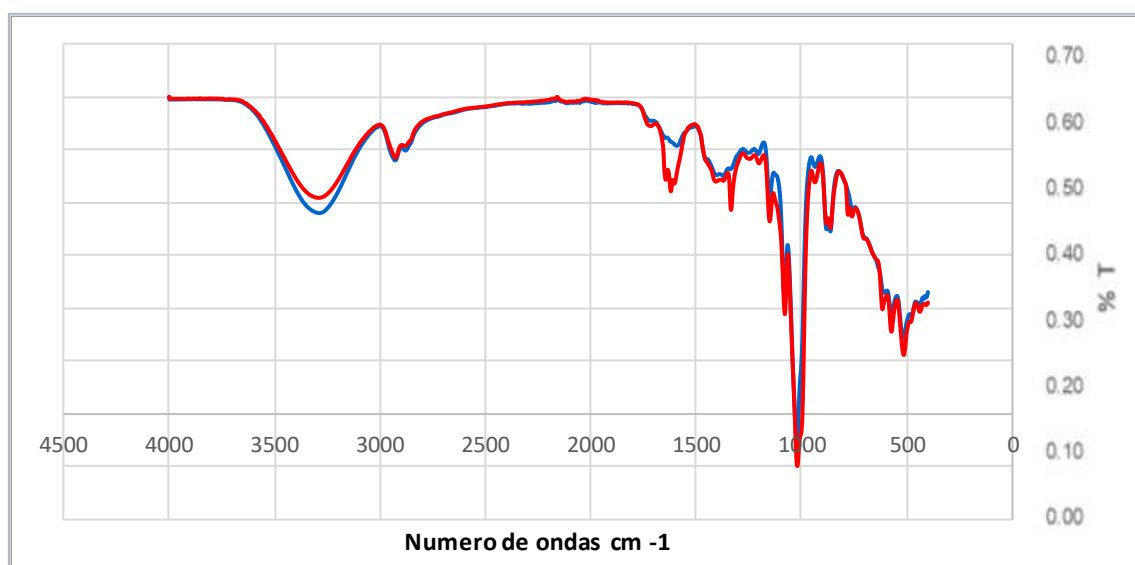


**Figura 3.13 Espectros Ir de las harinas de CP, PP Y PE.**

En la figura 3.13 se comparan los tres espectros IR de las harinas (CP, PP Y PE), la gráfica color amarillo corresponde al espectro de la harina PP, la de color morado al de PE y la de color azul al IR de la harina de CP. La grafica del IR de la pulpa tiene O-

H y C-O más pronunciados debido al estiramiento de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos y a la mayor cantidad de almidón respectivamente.

El espectro de PE es la que presenta menos alargamiento en los picos en comparación a las otras harinas, en el IR de la CP (1798  $\text{cm}^{-1}$  y 1670  $\text{cm}^{-1}$ ) se observa el mayor estiramiento debido al grupo carbonilo C=O y agua intramolecular contenida en el almidón.



**Figura 3.14 Espectros IR de las películas CP13 y PE13.**

Los espectros IR comparados pertenecen a las películas CP13 y PE13 (figura 3.14), como se logra observar el IR de la CP13 (gráfica color rojo) sus picos son más prolongados que los de la película color azul perteneciente a la síntesis de la película PE13, sin embargo, el pico mostrado en 3380  $\text{cm}^{-1}$  indica que hay un estiramiento de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos presentes en la pectina, la celulosa y la lignina, lo que permite establecer la presencia de hidroxilos libres.

### 3.4 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad en la intemperie y en agua de las películas se calculó de acuerdo a la ecuación 1.

#### 3.4.1 Degradabilidad en intemperie

Se realizó la biodegradabilidad a la intemperie a 6 diferentes muestras de las películas (figura 3.15), los resultados de porcentaje de degradabilidad se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Degradabilidad en intemperie.**

<b>Película</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa final (g)</b>	<b>Degradabilidad %</b>
<b>PP11</b>	7.660	4.048	47.157
<b>PE11</b>	7.347	5.372	26.884
<b>CP11</b>	6.690	6.545	2.167
<b>PP12</b>	13.241	9.528	28.044
<b>PE12</b>	8.621	7.908	8.269
<b>CP12</b>	8.195	4.632	43.477

#### 3.4.2 Degradabilidad en agua

De acuerdo a la ecuación 1, se procedió a calcular el porcentaje de degradabilidad en agua a 6 películas distintas, simulando así una degradación en medio acuoso; los datos obtenidos se muestran en la tabla 3.7.



**Tabla 3.7. Degradabilidad en agua.**

<b>Película</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa final (g)</b>	<b>Degradabilidad %</b>
<b>PP11</b>	7.569	4.388	42.028
<b>PE11</b>	7.244	4.550	37.193
<b>CP11</b>	6.624	5.882	11.203
<b>PP12</b>	13.250	10.680	19.400
<b>PE12</b>	8.607	7.407	13.946
<b>CP12</b>	8.223	11.901	-44.729

De acuerdo a la comparación y análisis de los datos obtenidos de porcentaje de degradabilidad en intemperie, se observa que la película PP11 es la de mayor porcentaje de degradabilidad (47.157) y la de menor porcentaje es la película CP11 (2.167). De la misma manera la película PP11 tiene mayor porcentaje con 42.028 % de degradabilidad en agua y la película CP12 aumento su masa debido a que esta absorbió el agua.

## CONCLUSIONES

- Actualmente el uso masivo de los plásticos derivados del petróleo ha ocasionado daños irreparables tanto al medio ambiente y a los seres vivos, es por ello que diversas organizaciones gubernamentales y privadas están realizando una intensa campaña para minimizar el uso de estos plásticos.
- El desarrollo de los biopolímeros se ha incrementado en la última década, ya están siendo comercializados los realizados a partir de la semilla de aguacate, nopal, bagazo de trigo, etc.
- El plátano de desecho no está siendo utilizado, teniendo una amplia gama de productos que van desde galletas hasta alimento para ganado, no existiendo ninguna legislación para un aprovechamiento adecuado de estos residuos.
- Se lograron sintetizar biopolímeros de las tres harinas preparadas plátano entero, pulpa de plátano y cáscara de plátano de desecho, todos utilizando etilenglicol como copolímero y ácido acético como catalizador.
- Se logró eliminar parcialmente el pardeamiento enzimático de las harinas de plátano en sus tres variedades al tratar los sustratos con metabisulfito de sodio y ácido cítrico.
- Mediante la prueba de tensión se logró demostrar la resistencia de las películas obtenidas, siendo la película sintetizada con plátano entero (PE08) la que mostró mayor resistencia con valores de resistencia de 58 N/cm<sup>2</sup> y para la película PE11 la de mayor elasticidad con una deformación de 0.085 cm/cm.
- Mediante la prueba de FTIR se demuestra que existe una copolimerización entre los componentes de las harinas y el etilenglicol.
- Los resultados de las dos pruebas de degradabilidad, degradabilidad por agua y degradabilidad por intemperie, realizadas a las películas sintetizadas en esta investigación indicaron que la degradabilidad en la intemperie es mayor que la degradabilidad en agua debido a que los porcentajes obtenidos en la degradabilidad en la intemperie son mayores a los de agua. También se observó que las películas sintetizadas con harina de pulpa tienen el mayor porcentaje de degradabilidad.

## RECOMENDACIONES

- Tabasco es uno de los principales estados productores y exportadores de plátano en el país, y por consiguiente debe cumplir con normas de exportación e importación y al no satisfacerlas genera un alto porcentaje de plátano de desecho al cual no se le da ningún uso, por lo cual se recomienda el aprovechamiento de esta materia investigando y aplicando sus beneficios para poder contribuir a disminuir los índices de contaminación ambiental.
- Se recomienda continuar con el estudio de la elaboración de películas biodegradables a partir de harina de plátano de desecho para mejorar sus condiciones realizando pruebas de propiedades físicas y mecánicas a las películas sintetizadas en esta investigación, estas pueden incluir compresibilidad y propiedades térmicas.
- Elaborar vasos, platos o bolsas a partir de las películas obtenidas en esta investigación y evaluar su uso y costo.

## Bibliografía

- Alvarado, J. E. (abril de 2016). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de. Obtenido de universidad técnica de ambato: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/AL599.pdf
- Arellano, a. V. (noviembre de 2015). "síntesis de nanopartículas de almidón y su. Obtenido de centro de investigación en química aplicada: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/Tesis%20MTP%20Angelica%20Velazquez%200Arellano%20Abr%2021%202016.pdf
- Arrivillaga, C. H. (noviembre de 2013). Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (musa. obtenido de universidad de san carlos de guatemala: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3523.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf)
- Avilés, G. R. (2005). Polímeros biodegradables a. Obtenido de universidad EAFIT: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/Gladys\_RuizAviles\_2005.pdf
- Cabrera, K. A. (septiembre de 2016). Formulación y Caracterización de Películas. Obtenido de universidad veracruzana: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/KAREN-ANNAI-HERNANDEZ-CABRERA.pdf
- Carrión, K. M. (Agosto de 2013). Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (musa. Obtenido de universidad de guayaquil: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/1113.pdf
- Castro, m. D. (julio de 2017). "síntesis de plásticos bio-basados a partir. Obtenido de universidad autónoma del estado de méxico: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/Mar%C3%ADa%20del%20Carmen%20Aguilar%20Castro-split-merge.pdf

Coello, C. J. (2017). Evaluación de polímeros en pseudotallos de Musa acuminata. Obtenido de El Colegio de la Frontera Sur: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/9MMIH2FGXFUT53TBDJTM15FLQ7HDVN.pdf

Dra. C. Norma Galego-Fernández, D. C.-G. (25 de 06 de 2017). Ciencia de los Polímeros en la Universidad de la Habana. Obtenido de Revista Cubana de química: file:///D:/2%20tesis/bibliografia/ind07118.pdf

Donald R. Askeland (mayo 2013). Ciencia e ingeniería de los materiales. sexta edición.

González-Prolongo, M. (s.f.). Propiedades químicas y físicas de polímeros . Obtenido de E.T.S.I.A.Universidad Politécnica de Madrid : file:///D:/2%20tesis/bibliografia/CC\_32\_art\_3.pdf

Guerrero, M. A. (21 de diciembre de 2016). Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos. Obtenido de Colegio de Ciencias e Ingenierías: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/129278.pdf

H. Alarcón, E. A. (2014). Obtención de biopolímeros de papa como una. Obtenido de Instituto de Investigación: file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/Arroyo\_Benites\_Edmundo.pdf

Hermida, E. (2011). polímeros . Obtenido de Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Mendizábal, F. L. (2015). Introducción a la ciencia de los polímeros. Obtenido de Universidad de Guadalajara: file:///D:/2%20tesis/bibliografia/introduccion-a-la-ciencia-de-los-polimeros1.pdf

Miguel Mazzeo Meneses, L. L. (20 de abril de 2010). Aprovechamiento industrial de residuos. Obtenido de Universidad de Caldas, Manizales (Colombia): file:///D:/Nueva%20carpeta%20(3)/14-25-1-SM.PDF

ONU. (12 de Mayo de 2017). La ONU lucha por mantener los océanos limpios de plásticos. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/05/especial-la-onu-lucha-por-mantener-los-oceanos-limpios-de-plasticos/>

ONU. (15 de Marzo de 2019). Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. Obtenido de Cambio climático y medioambiente: <https://news.un.org/es/tags/plastico>

Rosales, A. S. (octubre de 2007). "El cultivo de Plátano (genero musa) en México". Obtenido de buenavista, Saltillo, Coahuila, México.: <file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/T16494%20%20%20SOLIS%20ROSALES,%20%20ADALBERTO%20%20%20TESIS.pdf>

SAGARPA. (2017). estadísticas de plátano en México. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura>

SEMARNAT. (13 de Abril de 2017). Obtenido de <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2017/Abril/13/3469-En-Mexico-90-millones-de-botellas-de-plastico-de-refrescos-y-agua-son-lanzados-a-la-via-publica-rios-y-mares>

SIAP. (2017). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>.

SIAP. (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>.

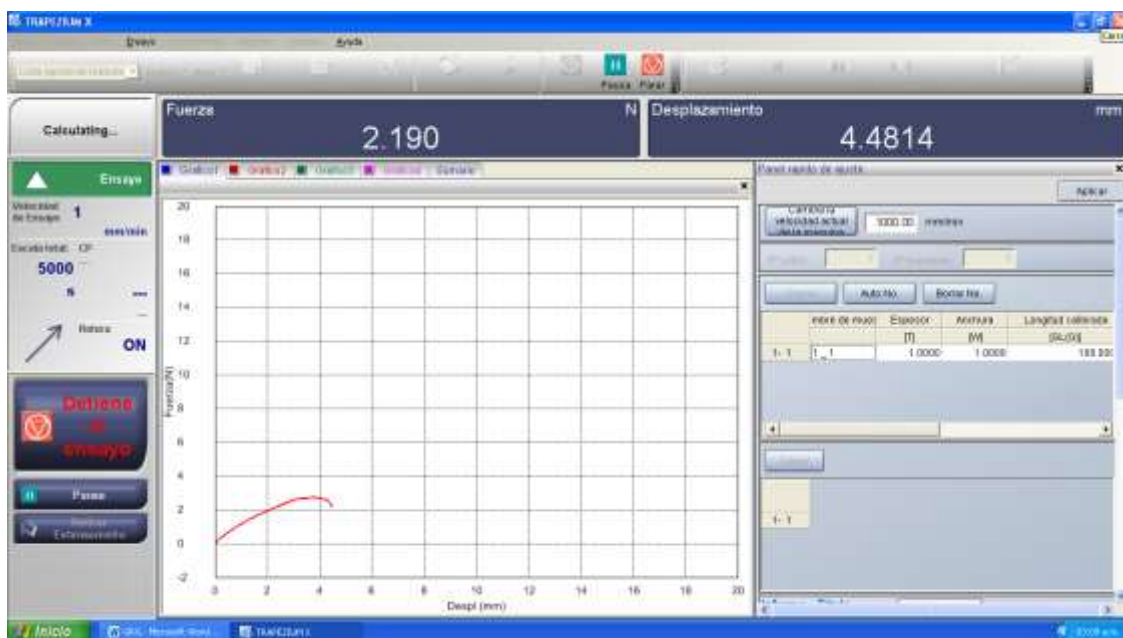
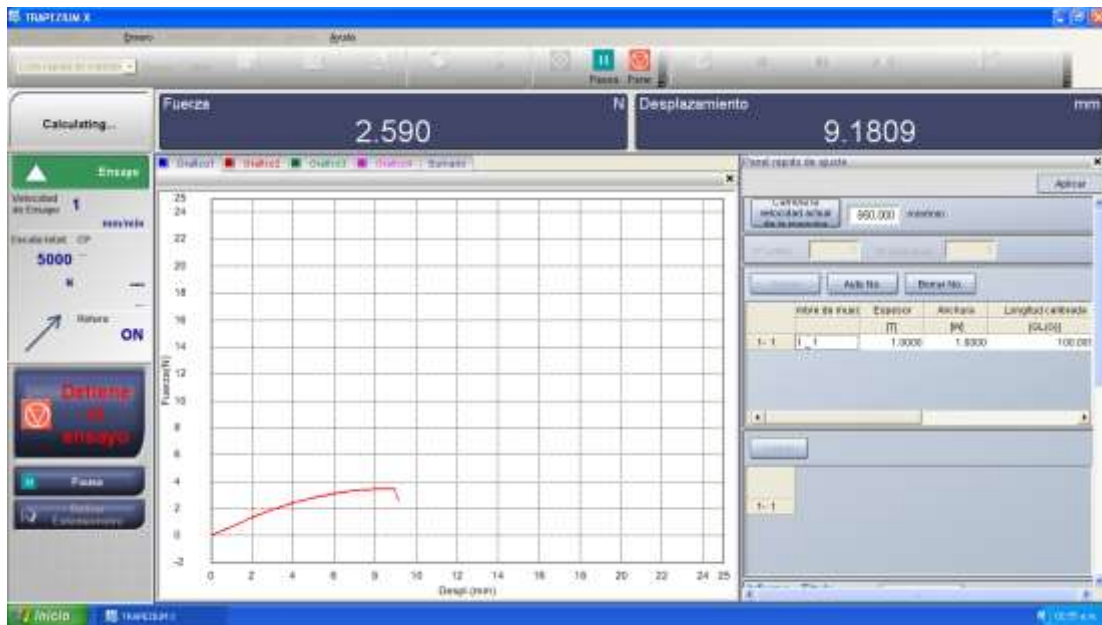
SONCO, F. G. (2014). Evaluación del uso de cáscaras de banano (*Musa paradisiaca* sp.). Obtenido de universidad mayor de san andrés:  
file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/T-2022.pdf

Viteri, A. L. (febrero de 2018). Polímeros biodegradables. Importancia y. Obtenido de universidad nacional de educación a distancia:  
file:///C:/Users/GRISY/Dropbox/Labeaga\_Viteri\_Aitziber\_TFM.pdf

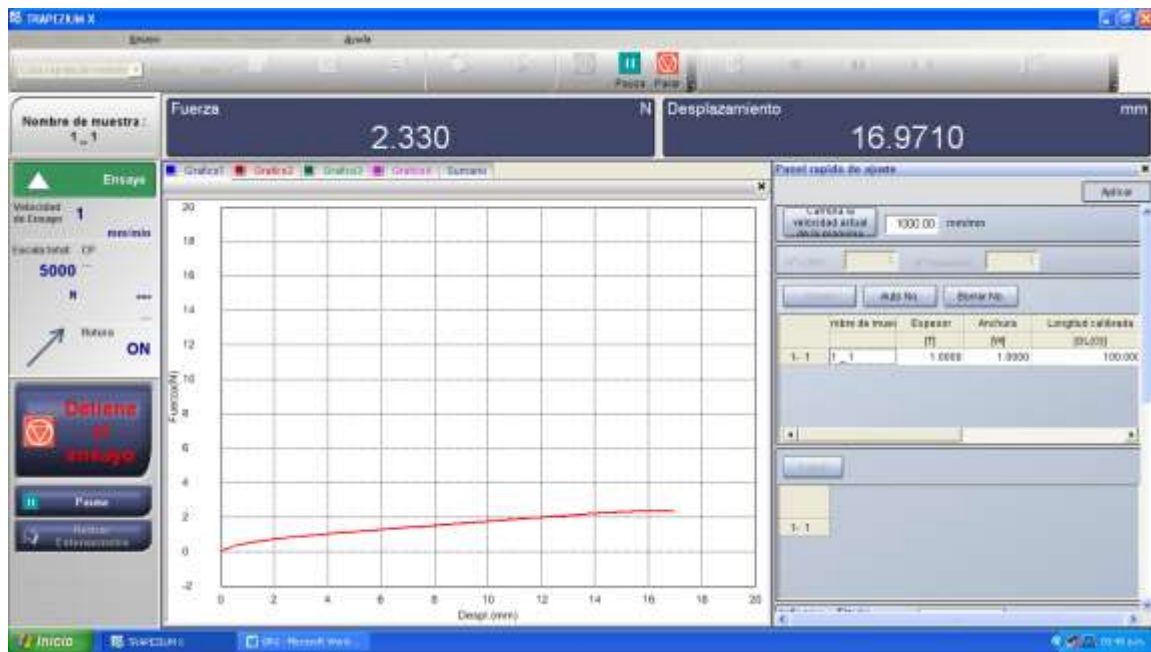
# ANEXOS

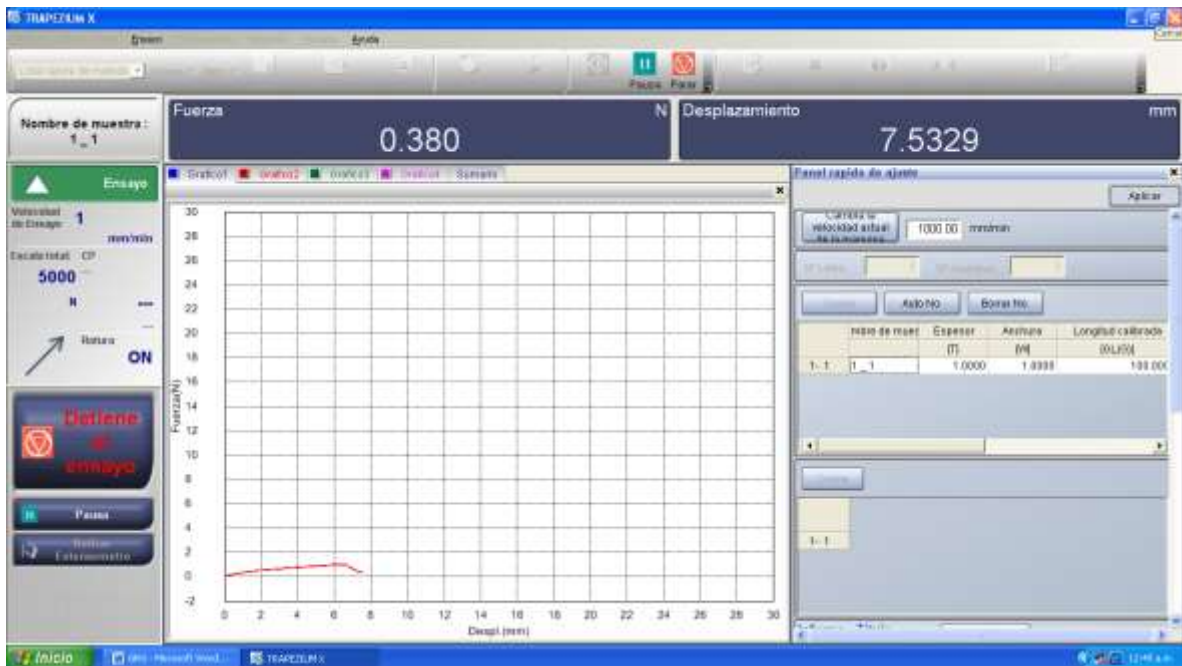
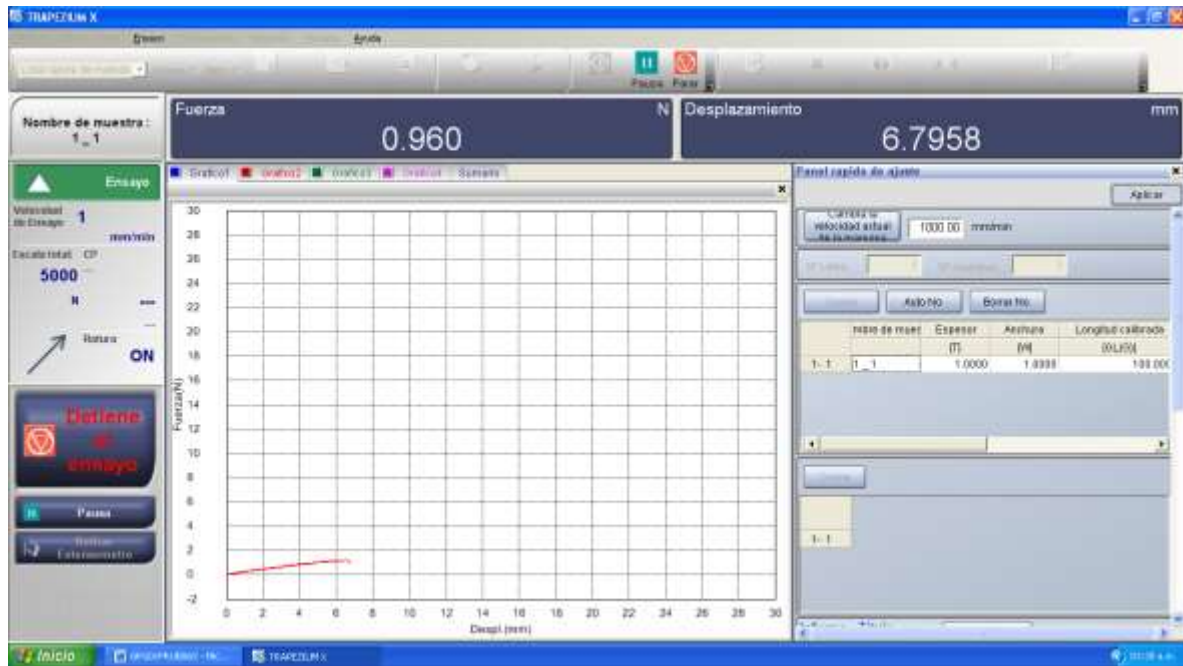
## APÉNDICE A

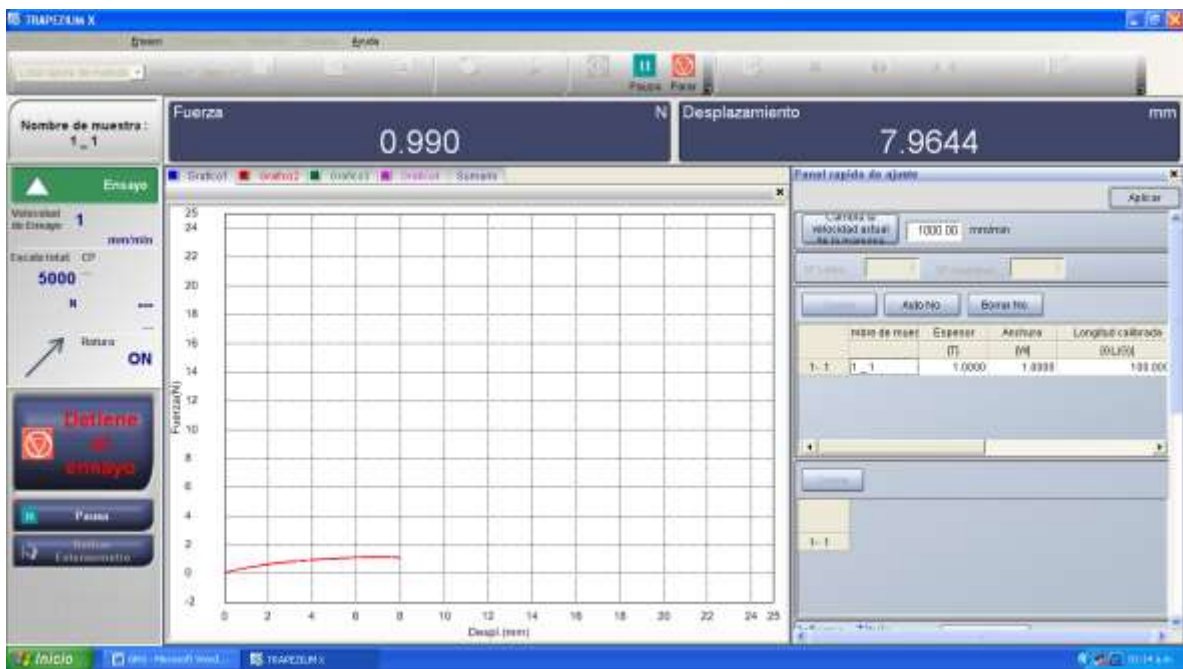
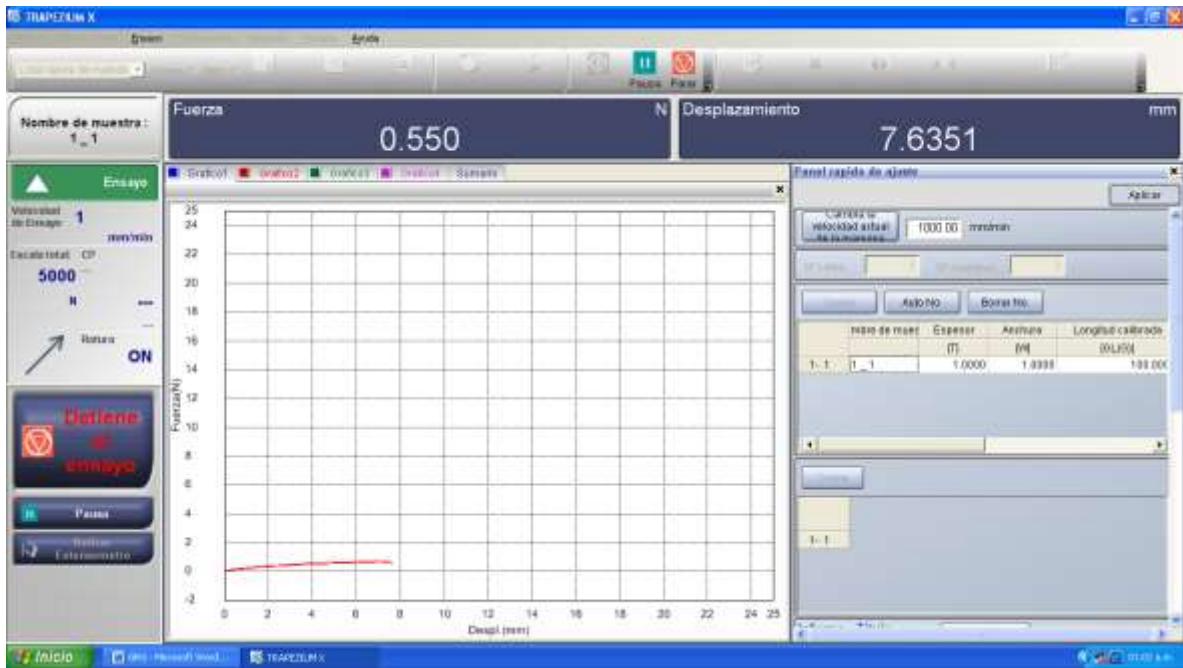
### Ensayos de tensión







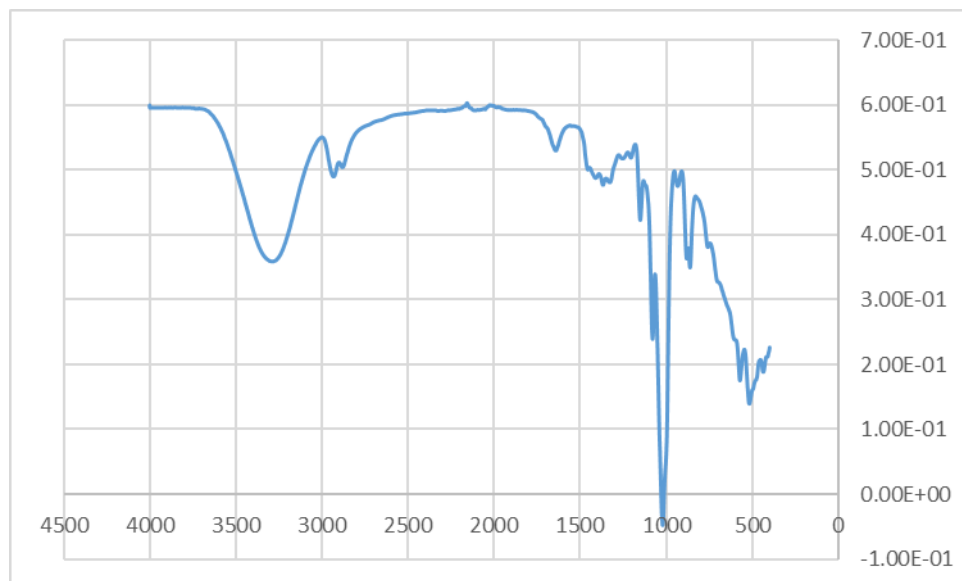




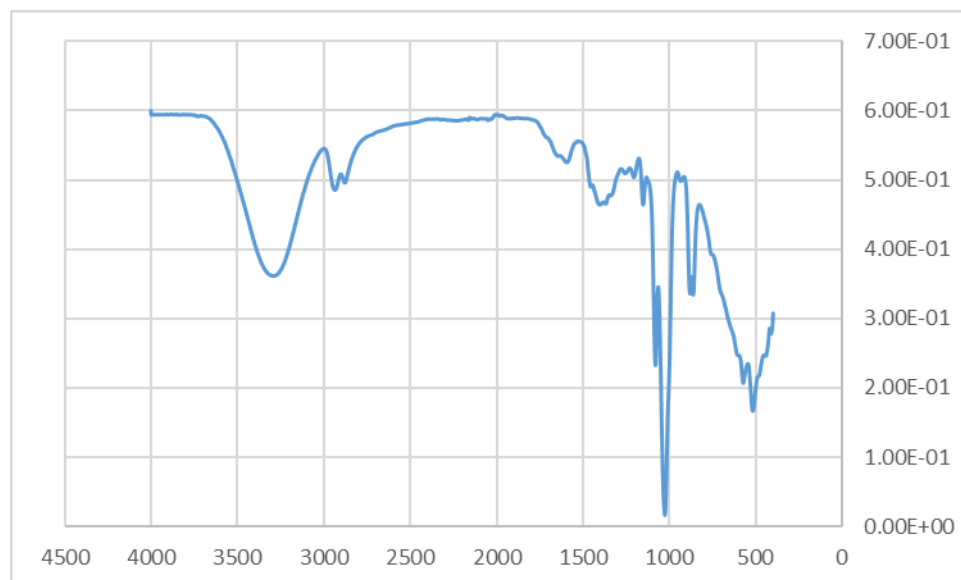
## APÉNDICE B

### Espectros IR

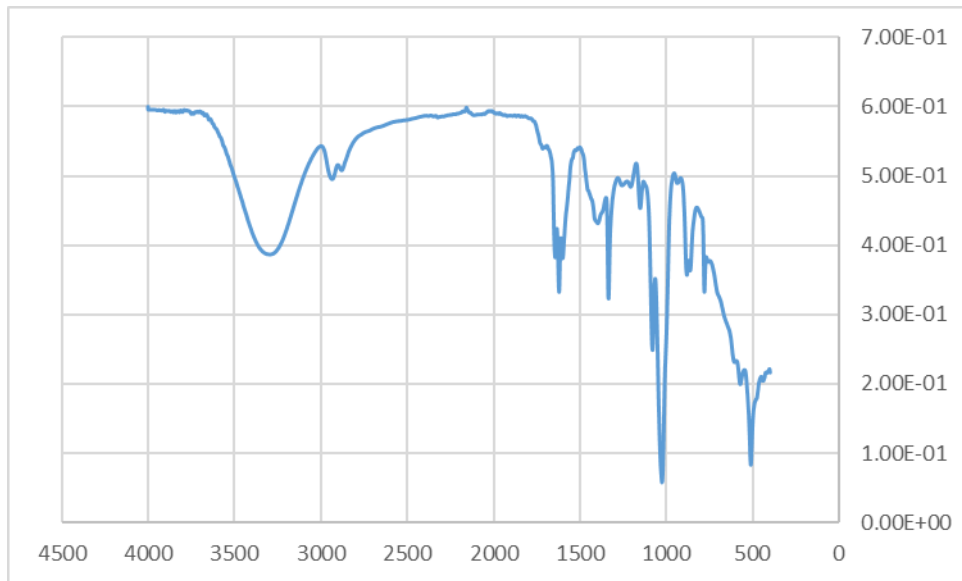
Película CP07



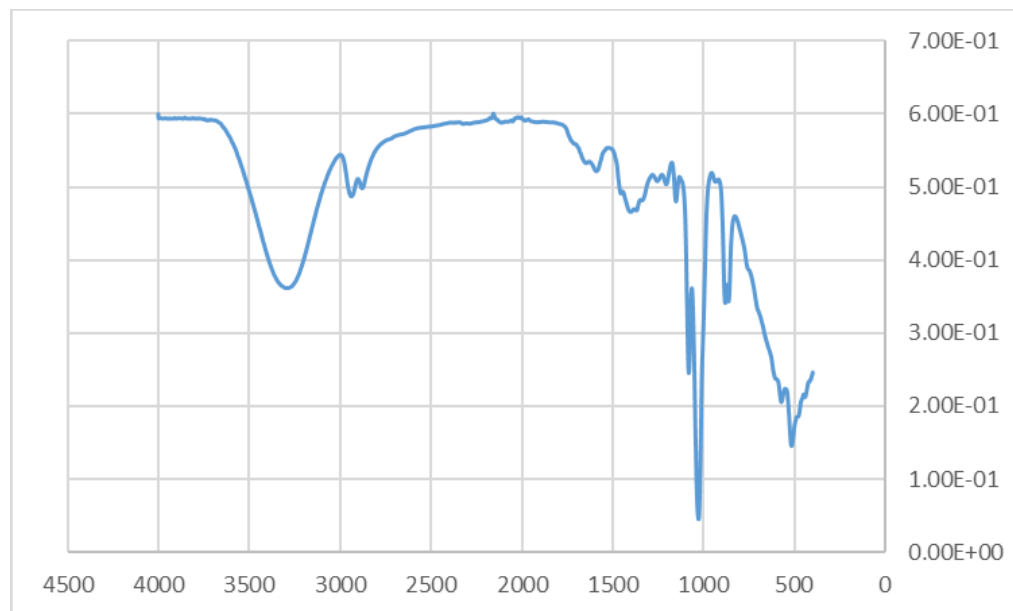
Película PP13



Película CP08



Película CP07



## Película CP03

