

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO INNOVADOR PARA LA  
OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN  
DE UN BIOPLÁSTICO UTILIZANDO  
COMO MATERIA BASE LA FIBRA DE  
LA CÁSCARA DE COCO  
Y PAPAYA**

Proyecto de interés académico y sector  
de Medio Ambiente

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL:  
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2020



**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO INNOVADOR PARA LA  
OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN  
DE UN BIOPLÁSTICO UTILIZANDO  
COMO MATERIA BASE LA FIBRA DE  
LA CÁSCARA DE COCO  
Y PAPAYA**

Proyecto de interés académico y sector  
de Medio Ambiente

DOCENTE INVESTIGADORA PRINCIPAL:  
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2020

### **Rectora**

Licda. Ely Escobar Santo Domingo

### **Vicerrector Académico**

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

### **Vicerrectora Técnica Administrativa**

Ing. Frineé Violeta Castillo

### **Director de Investigación y Proyección Social**

Ing. Mario W. Montes Arias

### **Dirección de Investigación y Proyección Social**

Ing. David Emmanuel Ágreda Trujillo

Ing. Ingrid Janeth Ulloa de Posada

Sra. Edith Aracely Cardoza de González

### **Directora de Escuela de Ingeniería Química**

Licda. Cecilia Elizabeth Reyes de Cabrales

### **Autora**

Inga. Alma Verónica García Barrera

### **Docente Participante**

Ing. René Mauricio Hernández Ortiz

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2020

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica, el sector empresarial y la sociedad, como un aporte al desarrollo del país. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.



Atribución-No Comercial  
Compartir Igual  
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

668.45  
G216d

slv

García Barrera, Alma Verónica, 1979 -

Diseño innovador para la obtención y caracterización de un bioplástico utilizando como materia base la fibra de la cáscara de coco y papaya [recurso electrónico] : proyecto de interés académico y sector de medio ambiente / Alma Verónica García Barrera. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2020.

1 recurso electrónico (42 p. : il. col. ; 28 cm.)

Datos electrónicos (1 archivo : pdf, 14.5 mb). --

<https://www.itca.edu.sv/produccion-academica/>

ISBN 978-99961-39-39-0 (E-Book, pdf)

ISBN 978-99961-39-25-3 (impreso)

1. Plásticos – Aspectos ambientales. 2. Polímeros vegetales. 3. Biopolímeros. I. Título.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>6</b>
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA	6
2.3. JUSTIFICACIÓN	7
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
<b>4. HIPÓTESIS</b>	<b>7</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
5.1. BIOPOLÍMEROS	8
5.2. ALMIDÓN. PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN NATURAL	8
5.3. GELATINIZACIÓN	9
5.4. DESESTRUCTURACIÓN	9
5.5. EL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO	9
5.6. EL COCO	10
5.7. USOS DE LA FIBRA DE COCO	11
5.8. FIBRA DE COCO	12
<b>6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>12</b>
6.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
6.2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN	12
6.3. PARTE EXPERIMENTAL	13
6.3.1. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CÁSCARAS DE COCO	13
6.3.2. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CÁSCARAS DE MANGO Y PAPAYA	14
6.3.3. FORMULACIONES DE BIOPLÁSTICO SIN FIBRA DE CÁSCARA DE COCO	14
6.3.4. FORMULACIÓN DE BIOPLÁSTICO CON FIBRA DE CÁSCARA DE COCO	15
6.3.5. PRUEBAS FÍSICAS A LÁMINA DE BIOPLÁSTICO	16
6.3.6. PRUEBAS MECÁNICAS A LÁMINA DE BIOPLÁSTICO	20
6.3.7. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AL BIOPLÁSTICO	21

<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
7.1. FÓRMULAS PROTOTIPO DEL BIOPLÁSTICO DE CÁSCARAS DE PAPAYA Y DE COCO.....	22
7.2. RESULTADOS DE PRUEBAS FÍSICAS.....	25
7.2.1. ABSORCIÓN DE HUMEDAD.....	25
7.2.2. DENSIDAD APARENTE .....	27
7.2.3. CONTENIDO EN MATERIALES VOLÁTILES.....	28
7.3. RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS .....	29
7.3.1. DUREZA SHORE.....	29
7.4. RESULTADOS DE PRUEBAS QUÍMICAS .....	29
7.4.1. BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO.....	29
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>32</b>
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>10. GLOSARIO .....</b>	<b>33</b>
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>36</b>
12.1. ANEXO A. CÁLCULOS DE PORCENTAJE DE BIODEGRADABILIDAD.....	36
12.2. ANEXO B. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD .....	38
12.3. ANEXO C. VALORACIÓN ÁCIDO BASE PARA CUANTIFICAR BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO .....	40
12.4. ANEXO D. NORMAS UTILIZADAS .....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

Sabido es que, el uso de plásticos tiene una gran cantidad de aplicaciones en las industrias de la construcción, alimenticia, farmacéutica y transporte. Los plásticos se producen a partir del petróleo. Estos polímeros perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo y, por tanto, se acumulan, generando así grandes cantidades de residuos sólidos.

El objetivo principal de esta investigación es producir, a escala de laboratorio, un bioplástico a partir de la fibra contenida en la cáscara de coco, que pueda servir de materia prima para la elaboración de productos biodegradables.

Es por eso que se desarrolló esta investigación para la obtención de un plástico biodegradable a partir del endocarpio del coco y las cáscaras de papaya. Al bioplástico obtenido se le practicaron pruebas físicas (absorción de humedad, densidad aparente y contenido de materiales volátiles) y mecánicas (resistencia a la tensión y dureza Shore) para determinar su aplicación práctica. Además, se le hicieron pruebas químicas que verificaron, que, en efecto, se trataba de una sustancia biodegradable.

Se utilizó la metodología de tipo experimental y retrospectiva por tener como objeto de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio.

Como resultado se determinó que el material fabricado en el laboratorio es biodegradable ya que produce biomasa (dióxido de carbono) por la acción de microorganismos y que sus potenciales usos son como material de embalaje o empaque secundario.

Este plástico biodegradable ofrece una serie de ventajas cuando se compara con los plásticos convencionales. Es completamente degradado en compuestos que no dañan el medio ambiente: agua, dióxido de carbono y humus. Tal y como se comprobó en la parte experimental de este estudio. El bioplástico obtenido de las cáscaras de papaya y de coco puede ser una alternativa en el mercado de los empaques secundarios y así tratar de contribuir a la reducción de la contaminación medio ambiental.

Se determinó que el material obtenido en el laboratorio era susceptible de biodegradarse por la acción de microorganismos y que tiene propiedades plásticas. Esto destaca la importancia que tienen el almidón y la fibra de las frutas como materias primas para la elaboración de bioplásticos, presentándose como un material alternativo a los plásticos derivados del petróleo.

Bajo las condiciones de temperatura del 27.1°C y humedad relativa próxima al 100% se pudo comprobar de forma cualitativa que el bioplástico desarrollado en esta investigación se degrada en 19 días, según los registros de la prueba de biodegradabilidad.

En cuanto a las pruebas mecánicas, el bioplástico obtenido 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 secundario siempre y cuando este no se exponga a altas temperaturas.

Este proyecto fue desarrollado por las carreras de Técnico en Laboratorio Químico y Técnico en Química Industrial, impartidas por la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE Sede Central.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La mayoría de los utensilios desechables que se usan en la actualidad son elaborados de polímeros sintéticos derivados de compuestos petroquímicos, y sus desperdicios permanecen en el medio ambiente produciendo contaminación. La situación se torna más grave porque muchos de estos utensilios no pueden reciclarse fácilmente, pues hay que recolectarlos, trasladarlos y limpiarlos antes de procesarlos, lo cual resulta costoso. Cabe mencionar que diariamente, los salvadoreños generamos unas 3,430 toneladas de desechos. De ellas, poco más de 50 son recuperadas, es decir, entre el 1% y el 2%, según Kathy Castro, especialista de la *Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos* del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Por lo cual, en esta investigación, se desarrolló una lámina de bioplástico a escala de laboratorio, que cumple con la característica de ser biodegradable, de acuerdo a la definición de la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*: "Plástico degradable en el cual la degradación resulta de la acción de microorganismos de ocurrencia natural". Y que sirva como materia prima para elaborar diversos productos termoformados.

### 2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

En cuanto a patentes relacionadas con la obtención de materiales compuestos a partir del almidón y las fibras vegetales contenidas en la cáscara de coco, se ha encontrado lo siguiente:

*Composición del material biodegradable / bioplástico y uso del mismo para hacer productos consumibles.*

Número de aplicación: US20140209841A1

Se describe una composición de material bioplástico biodegradable que comprende material sintético y material biológico. Los materiales biológicos reutilizables pueden ser plástico a base de ácido poliláctico, restos pulverizados de nuez, almendra, cáscara de coco y otras materias orgánicas biodegradables y los materiales sintéticos pueden ser polipropileno y / o polietileno. [1]

*Bioplástico.*

Patente US9085677B2

La invención describe un método para obtener un bioplástico que contiene un oligosacárido, un plastificante y un aditivo. Los aditivos pueden ser: cáscara de huevo en polvo, cáscara de coco en polvo, gelatina, aserrín o combinaciones de los mismos. [2]

*Proceso para la preparación de películas plásticas biodegradables.*

Patente No WO2018134702A1

La invención se refiere a un proceso para la fabricación de películas plásticas biodegradables en ambientes acuosos, a partir de desechos vegetales en forma de polvo (brócoli, cáscara de tomate, las cáscaras de coco y el desperdicio de espinaca), sin uso en ninguna etapa del proceso de reactivos químicos y solventes orgánicos que puedan dejar residuos dañinos en la película, y sin hacer uso de condiciones operativas que pueden comprometer la sostenibilidad ambiental y una escalabilidad del proceso sin esfuerzo. [3]

De las investigaciones a nivel regional (América Latina) se pueden tomar como antecedentes de tesis para la obtención de pregrados o doctorados, que han obtenido bioplásticos a partir de la cáscara de banano [4] [5] [6] y del coco [7]

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

La tierra produce plantas que contienen almidón, celulosa o fibras. Esos compuestos pueden servir como base para producir polímeros biodegradables, los cuales pueden servir como materia prima para fabricar diversos utensilios. Estos productos tienen la propiedad de descomponerse en muchísimo menor tiempo que los plásticos convencionales. El uso de los polímeros biodegradables se presenta como una solución interesante debido a su abundancia y fácil biodegradabilidad.

La industria del plástico se vería beneficiada en encontrar disponibilidad de materias primas hechas de materiales biodegradables, de bajo costo de ser posible, para la manufactura de utensilios diversos: cubiertos, envases, embalajes, etc.

Es por eso que se busca obtener un material que satisfaga los requerimientos, en cuanto a sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas para servir como materia prima para hacer productos biodegradables, que puedan sustituir productos altamente contaminantes, como el poliestireno expandido (durapax). Esto contribuiría a una reducción en la contaminación ambiental generada por los plásticos convencionales.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener un material bioplástico compuesto a partir de la fibra contenida en la cáscara de coco, que pueda servir de materia prima para la elaboración de productos biodegradables.

### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Obtener un bioplástico utilizando fibra de coco y otros aditivos, a escala de laboratorio.
- 2) Comprobar la degradabilidad del bioplástico obtenido mediante pruebas fisicoquímicas.
- 3) Medir propiedades fisicoquímicas y mecánicas del bioplástico: densidad, dureza Rockwell, tensión, elasticidad, deformación permanente, contenido en materiales volátiles, absorción de agua y densidad.

## **4. HIPÓTESIS**

Es posible obtener un material con características bioplásticas a partir de la fibra de la cáscara de coco.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son macromoléculas producidas por los seres vivos, son biodegradables, y pueden servir como materia prima para fabricar bioplásticos. El biopolímero más abundante en la tierra es la celulosa, pero también merece mención especial el hecho que los derivados del almidón son los biopolímeros más estudiados.

Una clasificación de los polímeros dependiendo de su origen, puede ser: (i) Polímeros que provienen de biomasa - polisacáridos y proteínas como: el almidón, celulosa, caseína y gluten, (ii) Polímeros a partir de síntesis química de monómeros, como: Biopolíester y el ácido poliláctico (PLA) y (iii) Polímeros obtenidos a partir de microorganismos como: PHA y PHB.

Son biopolímeros biodegradables el almidón, la celulosa y proteínas como la gelatina y no es biodegradable el polietileno fabricado a partir de la caña de azúcar. Los plásticos sintéticos pueden ser biodegradables como el alcohol polivinílico y las poliésteramidas [8]

Como se puede apreciar, el campo de los biopolímeros es amplísimo, pero para efectos de la siguiente investigación se profundizará específicamente en uno de ellos, el cual es el almidón y sus propiedades: y de cómo se puede producir a partir de él, un composito reforzado con fibras naturales.

### 5.2. ALMIDÓN. PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN NATURAL

El almidón está formado por dos estructuras poliméricas diferentes: la amilosa y la amilopectina. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha - 1,4$  (Figura 1) en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. Como consecuencia, las películas elaboradas con amilosa son más elásticas que las de celulosa. La amilosa es soluble en agua caliente [9]

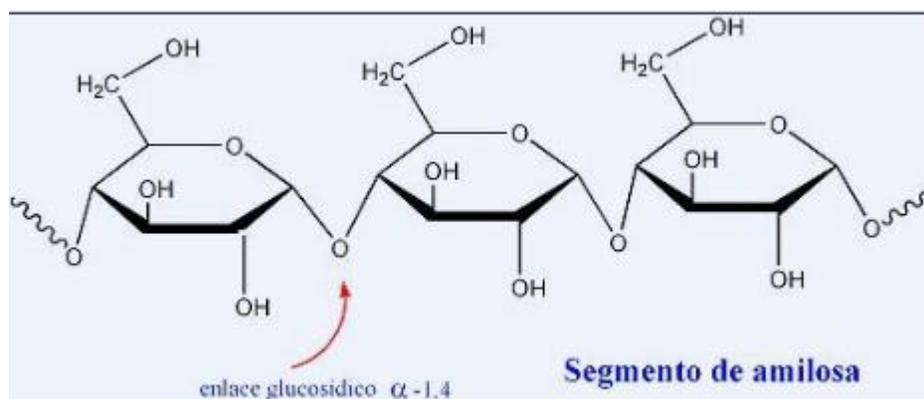


Figura 1. Segmentos de una molécula de amilosa.

En cambio, la estructura de la amilopectina, situada en las capas exteriores, es diferente a la de la amilosa. Las moléculas de la amilopectina contienen enlaces glicosídicos los cuales, unen las moléculas de glucosa en la cadena principal de amilopectina. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa.

Una de las propiedades más importantes del almidón natural es su semicristalinidad donde la amilopectina es el componente dominante para la cristalización en la mayoría de los almidones. La parte amorfa está formada por regiones ramificadas de amilopectina y amilosa. [9]

A continuación, se describirán brevemente algunas de las propiedades más significativas del almidón, las cuales dependen de la relación de amilosa y amilopectina, de la distribución del peso molecular, del grado de ramificación y del proceso de conformación de cada componente del polímero.

### **5.3. GELATINIZACIÓN**

La gelatinización es la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos se hinchan por la acción del calor, tienden a perder las propiedades que le confiere su estructura semicristalina y a una temperatura crítica forman un gel. [10]

Algo importante a considerar cuando se quiere utilizar almidón termoplástico para preparar geles, comidas, películas o materiales procesados es la cantidad de agua o plastificante durante la gelatinización. Es por eso que, para la obtención del almidón termoplástico, el almidón se funde con la ayuda de una cantidad relativamente baja de agua durante el proceso de extrusión, moldeo por presión o moldeo por inyección, se recomienda que la cantidad de agua esté por debajo del 20%.

### **5.4. DESESTRUCTURACIÓN**

Se entiende la desestructuración del almidón natural como la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo y en el rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Este fenómeno puede producirse cuando se varían los siguientes factores fisicoquímicos: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente, y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía.

La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad del almidón en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 °C, sin embargo, solamente por encima de 190 °C puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración. [9]

### **5.5. EL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO**

Para convertir un almidón seco en un material bioplástico es necesario romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo. El almidón sin los aditivos adecuados no puede tener las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico. Los aditivos incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular. Se pueden distinguir dos tipos de ordenamiento en el almidón termoplástico después de su

procesamiento: la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A (común en almidones de cereales), B (típica de tubérculos) y C (encontrada en ciertas raíces y semillas) todas son causadas por la fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad inducida durante el procesamiento, de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas. Cuando se habla de cantidad de cristalinidad residual es la que está relacionada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento. [11]

Dependiendo de algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en: recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero. Las interacciones moleculares (principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón) que ocurren después del enfriamiento son llamadas retrogradación. Esta retrogradación hace referencia igualmente a los cambios que tienen lugar en el almidón gelatinizado desde un estado amorfo inicial a uno cristalino más ordenado. Ocurre porque los geles de almidón no son termodinámicamente estables. Son las cadenas de amilopectina las responsables por los fenómenos de retrogradación que se generan a largo plazo, mientras que la amilosa se relaciona con los cambios a tiempos más cortos. [11]

## 5.6. EL COCO

El coco es un fruto comestible, que se usa para la cosmética y en repostería, proviene de la palmera cocotero cultivada en todos los países del mundo. Exteriormente tiene una cáscara muy gruesa y fibrosa (mesocarpio), y otra interior bastante dura (endocarpo), vellosa ambas de color marrón. Al interior se halla una pulpa blanca, y en su interior se halla el agua de coco [12]. En la figura siguiente se puede visualizar las partes del fruto de las que se ha hablado.

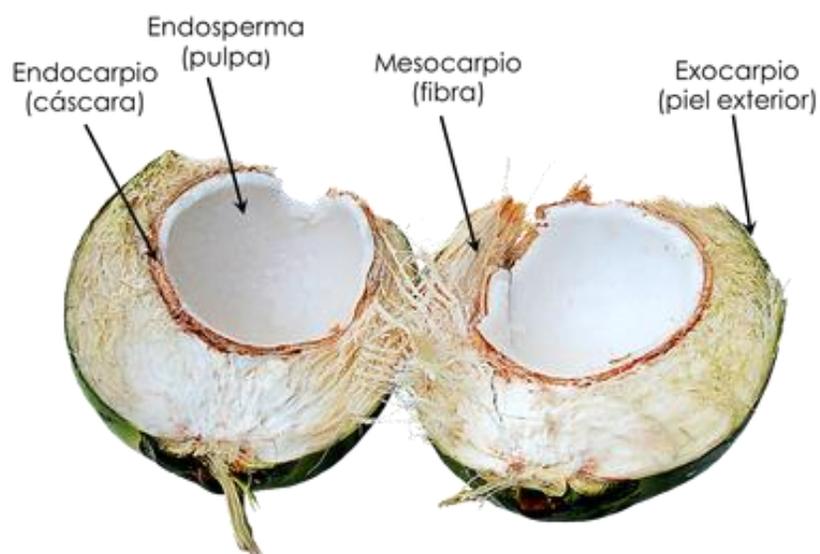


Figura 2. Partes del coco. Fuente: Blog “El gran viaje del coco”

### 5.7. USOS DE LA FIBRA DE COCO

Debido a sus propiedades, la fibra de coco dentro de sus materias primas para fabricar productos para la industria automotriz, industria colchonera, jardinería, horticultura y como bio manto para suelos, tal y como se detalla en el siguiente infograma:



Figura 3. Aplicaciones de fibra de coco en la industria.  
Fuente: Londoño, Q, Yaqueline (2017). Usos de la fibra de coco.

## 5.8. FIBRA DE COCO

La fibra de coco es extraída del mesocarpio (ver figura X), estas pertenecen “a la familia de fibras duras [...]”. Sus principales componentes son la celulosa y lignina, esta última provee la resistencia y rigidez de la fibra” [7]

Las propiedades más destacadas de la fibra de coco son las siguientes:

- Baja conductividad térmica.
- Resistencia al impacto.
- No es electrostática.
- Inodora.
- Resistente a las bacterias.
- Resistente a la humedad.
- No atacable por roedores o termitas.
- 100 % biodegradable [7]

## 6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se considera una investigación de tipo experimental y retrospectiva por tener como objeto de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio pues se realiza con el propósito de obtener datos fieles y seguros para que sirvan de base en estudios futuros.

### 6.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se consultaron bases de datos tales como CBUES, Libhub, Google Academycs, trabajos de investigación de centros de educación superior nacionales e internacionales, entre otros. Con relación a las patentes, se utilizó Spacenet.com y Google Patentes.

### 6.2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE. El desarrollo de las fases del proyecto se describe a continuación:

#### 1. Trabajo de campo

- 1.1. Recolección de las cáscaras en ventas de fruta aledañas a la institución.
- 1.2. Transportar y almacenar en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE.

#### 2. Parte experimental

Se realizó en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE, así:

- 2.1. Preparación de fibras: separación de mesocarpio y endocarpio de la cáscara de coco, limpieza, secado en estufa o al sol, digestión alcalina, neutralizado, pulverizado y almacenamiento.

- 2.2. Pretratamiento de cáscaras de frutas: preliminarmente se tenía contemplado incorporar cáscaras de frutas como fuentes de almidón para el material bioplástico, aisladas o juntas, tales como: mango (de cualquier especie) y papaya. Las cuales, pasaron por los siguientes procesos: limpieza, desinfección, tratamiento con ácidos orgánicos, pasteurizado y triturado.
- 2.3. Elaboración de bioplástico a escala de laboratorio: se realizaron varias formulaciones hasta encontrar la más promisoria, a parte de la fibra de coco tratada, se adicionaron cáscaras y semillas de papaya como fuentes de almidón. Además, se utilizaron sustancias de relleno, plastificantes y aditivos para mejorar flexibilidad o resistencia, según se requiera.
- 2.4. Control de calidad del bioplástico: a la fórmula de bioplástico más promisoria se le realizan las siguientes pruebas fisicoquímicas: densidad (UNE 53020, ASTM D 1505, DIN 53479), absorción de agua (UNE 53028, DIN 53495, ISO 62), dureza Shore (UNE 53130, ASTM D 2240, ISO 868), tensión, elasticidad, deformación permanente, contenido de materiales orgánica y degradabilidad.

### 6.3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 6.3.1. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CÁSCARAS DE COCO

- 1) Las cáscaras de coco (*Cocos nucifera*) fueron recolectadas de ventas de coco aledañas a ITCA-FEPADE, pues son remanentes de sus actividades diarias.
- 2) Las cáscaras se sumergieron en una solución de bicarbonato de sodio al 10 % p/v por 15 días, para ablandar las fibras. Después de esto, se escurrieron.
- 3) Posteriormente, las cáscaras se limpiaron de partes dañadas o podridas, se separó el mesocarpio del endocarpio, y se les retiro restos del fruto.
- 4) Luego, fueron dispuestas en bandejas de aluminio y fueron secadas en estufa a 100° C, el tiempo de secado varió entre: 8 a 16 horas, por lote de cáscaras.
- 5) Para pulverizar las cáscaras se utilizó un molinillo eléctrico.

En el esquema siguiente se muestra este procedimiento:



Figura 4. Extracción de fibra de cáscaras de coco. [Elaboración propia]

### 6.3.2. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CÁSCARAS DE MANGO Y PAPAYA

- 1) Las cáscaras de mango de dos clases (*Mangifera indica* y *Mangifera indica 'Haden'*) y de papaya (*Carica papaya*) se recolectaron en ventas de frutas próximas a ITCA-FEPADE. Se procuró que las cáscaras provinieran de frutos maduros.
- 2) Posteriormente, las cáscaras se limpiaron de partes dañadas o podridas.
- 3) Las cáscaras de fruta, por separado (en ningún momento se mezclaron unas con otras) se sumergieron en una solución antioxidante de ácido ascórbico al 5 % p/v por 24 horas. Se almacenó todo el conjunto bajo condiciones de refrigeración (4° - 10°C).
- 4) Luego, se calentaron las cáscaras junto con la solución de ácido ascórbico a 85 °C en hot plate, cuidando que la temperatura se mantuviera constante durante 30 minutos.
- 5) Las cáscaras se escurrieron y fueron trituradas en caliente en una licuadora.
- 6) Una vez trituradas podían ser incorporadas a la formulación del bioplástico.

En el esquema siguiente se muestran imágenes de este procedimiento:



Figura 5. Procesamiento de cáscaras de frutas. [Elaboración propia]

### 6.3.3. FORMULACIONES DE BIOPLÁSTICO SIN FIBRA DE CÁSCARA DE COCO

Se evaluó que tipo de cáscara era la más apta para formar parte de la formulación del bioplástico, por lo tanto, se procedió a fabricar láminas de dicho material con las cáscaras de papaya y mango, de la siguiente forma:

- 1) Se licuaron las cáscaras previamente tratadas con el procedimiento descrito en 6.3.2. Para facilitar el triturado se añadieron porciones de baño de ácido ascórbico al 5% p/v.
- 2) A las cáscaras trituradas se les añadieron volúmenes de solución de HCl 0.1 N y glicerina. Se licuó por 5 minutos.
- 3) La mezcla fue distribuida en bandeja previamente engrasada y secada en estufa a aproximadamente 90°C, durante 8 horas.

- 4) La lámina de bioplástico obtenida fue almacenada a temperatura ambiente, en recipientes herméticos.

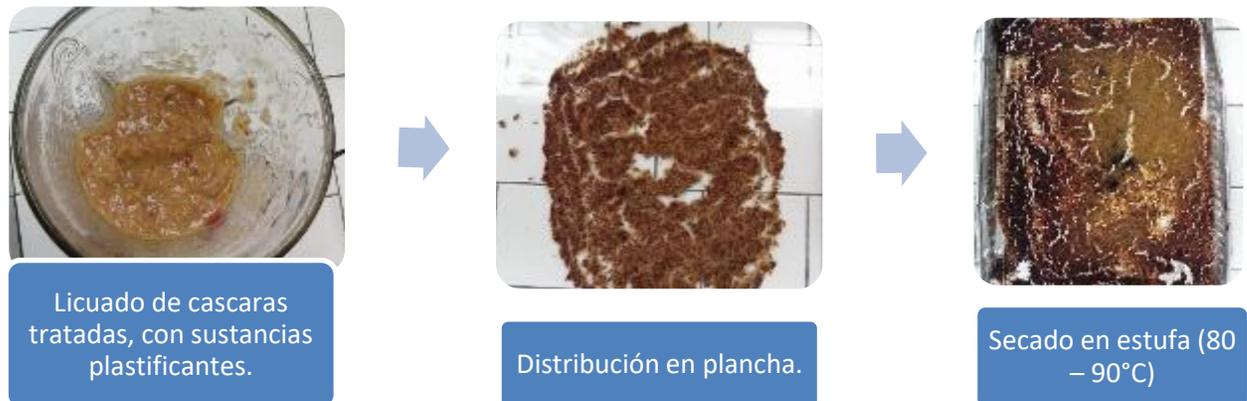


Figura 6. Elaboración de lámina de bioplástico de cáscaras de coco y frutas. [Elaboración propia]

#### 6.3.4. FORMULACIÓN DE BIOPLÁSTICO CON FIBRA DE CÁSCARA DE COCO

De las láminas de bioplásticos elaborados con cáscaras de mango (*Mangifera indica* y *Mangifera indica 'Haden'*) y de papaya (*Carica papaya*), se eligió ésta última para que fuera parte de la fórmula definitiva, debido a que sus propiedades plastificantes eran mejores que la de otras cáscaras que se probaron en este estudio.

Por lo tanto, los pasos para elaborar la lámina de bioplástico fueron los siguientes:

- 1) Se licuaron las cáscaras y semillas de papaya (*Carica papaya*), previamente tratadas, tal y como se indica en el procedimiento 6.3.2 (remojo en ácido ascórbico y calentamiento a 85°C).
- 2) Las cáscaras trituradas fueron pasadas por un colador fino, para separar grumos que podían interferir con la formulación.
- 3) Doscientos gramos de cáscaras y semillas de papaya tamizadas se trasladaron a una licuadora, para mezclarse con los demás ingredientes.
- 4) Se adicionaron 10 ml de HCl 0.1 N y 10 ml de glicerina a las cáscaras de papaya, todo se licuó por 5 minutos.
- 5) A la mezcla anterior se le añadieron el endocarpo de coco pulverizado y carbonato de calcio. Se licuó por otros 5 minutos.
- 6) Finalmente, se agregó la carboximetilcelulosa y se licuó junto con porciones de baño de ácido ascórbico al 5% p/v, se procuró que en la mezcla no se formaran grumos. Se dejó de licuar hasta cuando se obtuvo una textura homogénea y con una viscosidad tal que quedara pegada en una espátula.
- 7) La mezcla fue distribuida en bandeja previamente engrasada y secada en estufa a aproximadamente 100°C, durante tres horas y media.
- 8) La lámina de bioplástico obtenida fue almacenada a temperatura ambiente, en recipientes herméticos.

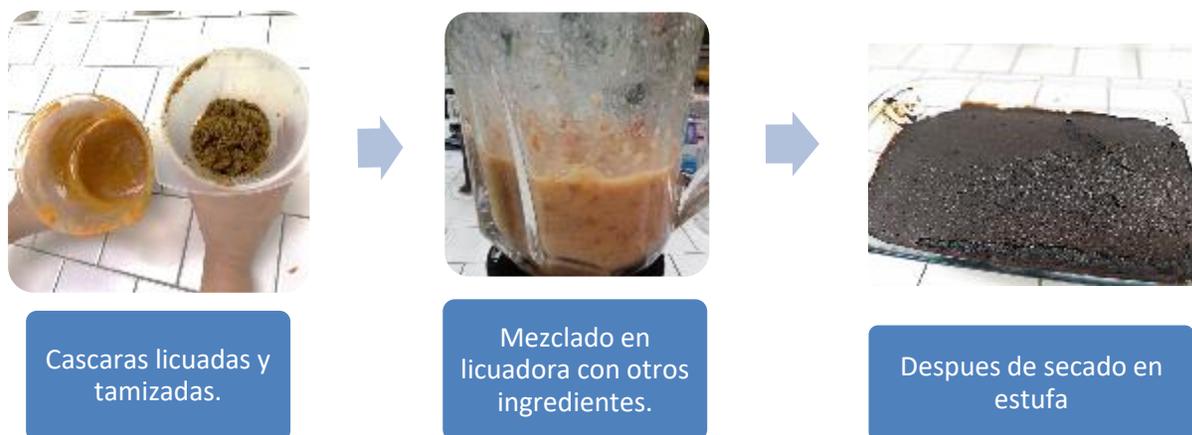


Figura 7. Elaboración de lámina de bioplástico de cáscaras de coco y papaya.  
[Elaboración propia]

### 6.3.5. PRUEBAS FÍSICAS A LÁMINA DE BIOPLÁSTICO

Con el objetivo de caracterizar la lámina de bioplástico obtenida de las cáscaras de papaya y coco, se le practicaron las siguientes pruebas físicas:

#### Humedad.

- 1) Se pesaron probetas del bioplástico, las cuales habían sido cortadas en cuadros de 4.0 x 4.0 cm.
- 2) Se colocaron tres probetas de bioplástico en cada crisol de porcelana previamente secado y pesado.
- 3) Los dos crisoles con las probetas se colocaron en estufa, para ser secados hasta peso constante a 105°C.
- 4) El conjunto se retiró de la estufa y se dejó enfriar en desecador (Se pueden ver las imágenes del procedimiento en el Anexo A).
- 5) Se calculó el contenido de humedad a partir de la pérdida en peso de la muestra. Se utilizó la siguiente formula:

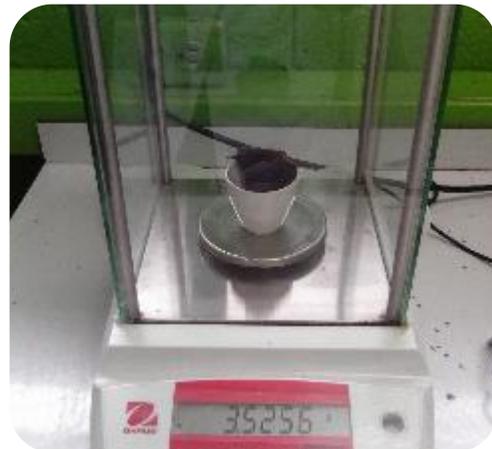
$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M - m)}{M} \times 100$$

Dónde: M = masa inicial en gramos de la muestra.

m = masa en gramos del producto seco.



Secado en estufa de probetas  
previamente pesadas



Pesado de probetas posterior al  
secado.

Figura 8. Prueba de humedad de bioplástico. [Elaboración propia]

#### Contenido en material volátil

- 1) A los crisoles con las probetas secas resultantes del procedimiento anterior, se los introdujo en una mufla para ser calcinados a 550°C durante 45 minutos.
- 2) Una vez transcurrido el tiempo de calcinación, ambos crisoles con sus cenizas fueron trasladados a desecadores (Ver imágenes en Anexo A).
- 3) El conjunto enfriado a temperatura ambiente fue pesado para determinar su porcentaje de cenizas, empleando la siguiente formula:

$$\%ceniza = \frac{(P_1 - P_2)}{(P - P_1)} \times 100$$

Dónde:

P = peso en gramos del crisol + muestra

P1 = peso en gramos del crisol + ceniza

P2 = peso en gramos del crisol vacío



Calcinación en mufla de probetas de bioplástico.



Cenizas del bioplástico en el desecador, en espera de ser pesadas.

Figura 9. Prueba de contenido de material volátil del bioplástico. [Elaboración propia]

#### Densidad aparente

- 1) Se cortaron diez probetas de bioplástico de 4.0 x 4.0 cm.
- 2) Se le midió el espesor a cada probeta haciendo uso de un micrómetro.
- 3) Se pesó cada probeta en balanza analítica.
- 4) La densidad promedio del bioplástico se obtuvo utilizando la siguiente expresión.

$$Densidad = \frac{M}{V}$$

En donde:

M = masa promedio de las probetas de bioplástico.

V = volumen promedio de probetas de bioplástico (Espesor x área de la probeta)

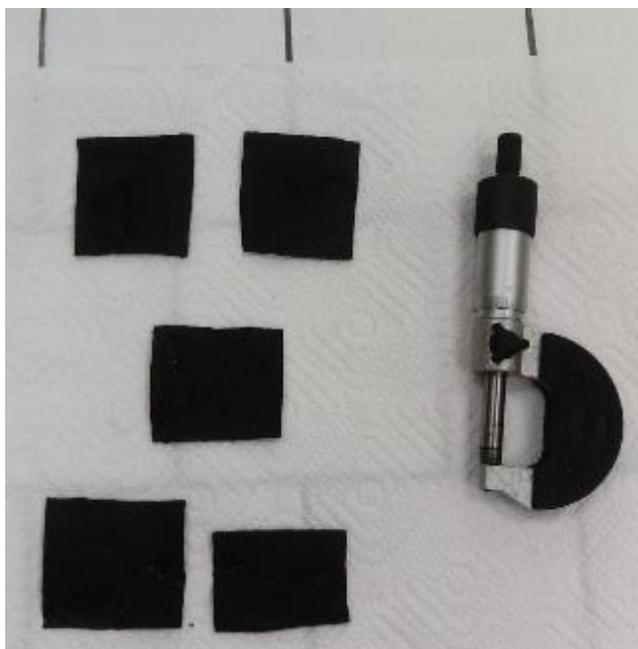


Figura 10. Probetas para pruebas de densidad aparente.

#### **Absorción de agua**

- 1) Las probetas de bioplástico se secaron a 100°C por 4 horas.
- 2) Se pesaron después de haberlas sacado de la estufa.
- 3) Luego, se colocaron en desecadores condicionados a una humedad relativa cercana al 100% utilizando agua destilada (Ver Anexo B).
- 4) El incremento en peso se midió diariamente. La cantidad de absorbida se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{[M_f - M_i]}{M_i} \times 100$$

Donde  $M_f$  es el peso de la muestra al final y el  $M_i$  es el peso de la muestra al inicio. Todas las mediciones se hicieron por duplicado.



Probetas en desecadores con agua destilada.



Reposo de las probetas en humedad relativa del 100%

Figura 11. Prueba de absorción de agua del bioplástico. [Elaboración propia]

### 6.3.6. PRUEBAS MECÁNICAS A LÁMINA DE BIOPLÁSTICO

Para conocer las propiedades mecánicas de la lámina de bioplástico elaborada en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE, se le practicaron las siguientes pruebas: dureza Shore, tensión; las cuales, fueron realizadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales.

#### Prueba de resistencia a la tensión

- 1) Se cortaron probetas de bioplástico de dimensiones de 5.0 x 10.0 cm.
- 2) Se aseguró la probeta en la parte superior e inferior de la maquina universal de ensayos de tensión.
- 3) La máquina se puso en marcha y al finalizar la prueba (cuando la probeta se rompió) se procedió a tomar la lectura en la escala análoga del instrumento.
- 4) Las pruebas se realizaron por triplicado.

#### Determinación de dureza Shore

- 1) Se cortaron probetas de bioplástico de dimensiones de 5.0 x 5.0 cm en la base y 0.5 cm de espesor.
- 2) Se colocó la probeta en la parte inferior del escleroscopio que reporta mediciones en la escala Shore C.
- 3) La máquina se puso en marcha, se deja caer el percutor y la prueba finaliza cuando se mide la altura a la que rebotó el percutor en la escala del instrumento.
- 4) Las pruebas se realizaron por triplicado.



Figura 12. Escleroscopio en el cual se realizó la prueba de dureza Shore C al bioplástico  
[Elaboración propia]

### 6.3.7. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD AL BIOPLÁSTICO

Con el objetivo de demostrar si la lámina de material obtenida de las cáscaras de papaya y coco es biodegradable, se realizó una prueba con el fin de cuantificar la cantidad de  $\text{CO}_2$  liberado por las muestras al ser puestas en contacto con tierra y agua en un recipiente hermético. El dióxido de carbono liberado se trataba de capturar en una solución de hidróxido de calcio 0.025 N. El detalle de los pasos seguidos es el siguiente:

- 1) Se prepararon 250 ml de solución de hidróxido de calcio 0.025 N. Luego, 50 mL de esta solución se colocaron en un contenedor plástico.
- 2) Se cortaron cuadros de 4.0 x 4.0 cm de la muestra de bioplástico y de una bolsa desechable biodegradable.
- 3) Las probetas de bioplástico y de la bolsa biodegradable fueron mezcladas con 150 gramos de tierra abonada orgánicamente y 50 mL de agua potable, toda la mezcla se almacenó en un contenedor hermético. El contenedor con la probeta y con la solución de hidróxido de calcio estaba comunicado por una manguera plástica transparente.
- 4) Con el fin de utilizar un “blanco” se preparó un recipiente que contenía 150 gramos de tierra abonada orgánicamente con 50 mL de agua potable.
- 5) Después de 15 días, se titularon los remanentes de solución de hidróxido de calcio, utilizando como valorante HCl 0.1 N estándar (Ver cálculos e imágenes de la valoración en Anexo A y B).



Figura 13. Prueba de biodegradabilidad. [Elaboración propia]

## 7. RESULTADOS

Después de concluir el trabajo de campo y la parte experimental realizada en ITCA-FEPADE, se procede a presentar los resultados de las pruebas físicas, químicas y mecánicas realizadas a la lámina de bioplástico elaborada a partir de cáscaras de papaya y coco.

### 7.1. FÓRMULAS PROTOTIPO DEL BIOPLÁSTICO DE CÁSCARAS DE PAPAYA Y DE COCO

Se detallan a continuación las materias primas y condiciones de secado necesarias para fabricar el bioplástico en el laboratorio. Solo se presenta información de los prototipos que se apreciaban como los más prometedores de superar las pruebas mecánicas.

En un inicio, se buscaron varias fuentes de almidón y fibra tales como, las cáscaras de mango de las especies (*Mangifera indica* y *Mangifera indica 'Haden'*) y de papaya (*Carica papaya*). En las primeras formulaciones se excluyó a la cáscara de coco intencionalmente, pues el propósito era determinar cuáles cáscaras eran las que tenían mayor potencial de ser materia prima de un bioplástico. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 1. Formula de prototipo No 1 [Elaboración propia]

FORMULA DE PROTOTIPO 1: Secado en estufa a 120°C por 10 horas.	
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE PESO/PESO
Cáscaras de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) *	89.77%
Ácido clorhídrico 0.1 N	4.49%
Glicerina	5.75%

\*Previamente remojadas en ácido ascórbico 5% p/v, 24 horas como mínimo.

La lámina del material era quebradiza y de aspecto heterogéneo.

Se procedió a hacer un segundo prototipo pero con las cáscaras de otra clase de mango (*Mangifera indica 'Haden'*). La fórmula y resultados son los siguientes.

Tabla 2. Formula de prototipo No 2 [Elaboración propia]

<b>FÓRMULA DE PROTOTIPO 2: Secado en estufa a 120°C por 6 horas.</b>	
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>PORCENTAJE PESO/PESO</b>
Cáscaras de mango ( <i>Mangifera indica 'Haden'</i> ) *	89.77%
Ácido clorhídrico 0.1 N	4.49%
Glicerina	5.75%

\*Previamente remojadas en ácido ascórbico 5% p/v, 24 horas como mínimo.

Al igual que el prototipo No 1, el aspecto de la lámina era heterogéneo y quebradizo.

También se probó fabricar un bioplástico utilizando las cáscaras de papaya (*Carica papaya*). La fórmula y resultados son los siguientes.

Tabla 3. Formula de prototipo No 3 [Elaboración propia]

<b>FORMULA DE PROTOTIPO 3: Secado en estufa a 120°C por 8 horas.</b>	
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>PORCENTAJE PESO/PESO</b>
Cáscaras de papaya ( <i>Carica papaya</i> ).	93.18%
Ácido clorhídrico 0.1 N	2.43%
Glicerina	4.39%

\*Previamente remojadas en ácido ascórbico 5% p/v, 24 horas como mínimo.

La lámina resultante es más homogénea, más flexible y menos quebradiza que los prototipos 1 y 2. También es más higroscópica. Por lo cual, se eligieron las cáscaras de papaya como materia prima para ser combinada con la fibra de la cáscara de coco para la fabricación del bioplástico. Las diferencias entre los prototipos elaborados pueden verse en las siguientes imágenes.



Lámina de bioplástico de cáscaras de mango.



Lámina de bioplástico de cáscara de papaya.

Figura 14. Resultados de prototipos de bioplásticos con cáscaras de mango y papaya. [Elaboración propia]

Se procedió a incorporar en las formulaciones del bioplástico sustancias de relleno (se incorporaron las semillas de papaya), plastificantes y agentes de consistencia para mejorar sus propiedades elásticas y su aspecto. Las fórmulas elaboradas en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE son las siguientes.

Tabla 4. Fórmula de prototipo No 4 [Elaboración propia]

<b>FÓRMULA DE PROTOTIPO 4: Secado en estufa a 90°C por 8 horas.</b>	
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>PORCENTAJE PESO/PESO</b>
Cáscaras y semillas de papaya trituradas.*	90.91%
Ácido clorhídrico 0.1 N	2.36%
Glicerina	4.36%
Carboximetilcelulosa.	0.91%
Endocarpio de coco pulverizado.	0.55%
Carbonato de calcio.	0.91%

\*Previamente remojadas en ácido ascórbico 5% p/v, 24 horas como mínimo.

El prototipo presentaba buena consistencia después del secado (sin quiebres en la película) pero era muy rígido. Presentaba grumos en la superficie.

Para superar ambas observaciones, se procedió a tamizar las cáscaras y semillas licuadas. También se aumentó la proporción de glicerina, y se disminuyó la cantidad de endocarpio de coco pulverizado. Lo que dio origen a la siguiente fórmula prototipo.

Tabla 5. Fórmula de prototipo No 5 [Elaboración propia]

<b>Fórmula 5: Secado a 110 °C por tres horas y media.</b>	
<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>PORCENTAJE PESO/PESO</b>
Cáscaras y semillas de papaya trituradas y tamizadas*	86.96%
Ácido clorhídrico 0.1 N	4.35%
Glicerina	5.65%
Carboximetilcelulosa.	2.17%
Endocarpio de coco pulverizado.	0.43%
Carbonato de calcio.	0.43%

\*Previamente remojadas en ácido ascórbico 5% p/v, 24 horas como mínimo.

El material presentaba buena flexibilidad, sin quiebres, y su aspecto era más homogéneo.

## 7.2. RESULTADOS DE PRUEBAS FÍSICAS

Todas las pruebas físicas, químicas y mecánicas que se detallaran a continuación se le realizaron a la fórmula No 5, pues fue la que demostró mejor estabilidad al secado y al almacenamiento.

### 7.2.1. ABSORCIÓN DE HUMEDAD

En términos generales, se puede decir que, en los polímeros no higroscópicos, la humedad se retiene en la superficie, mientras que en los polímeros higroscópicos, la humedad es además, absorbida en el interior del gránulo. La humedad, tanto externa como interna, afecta negativamente a la calidad estética y funcional del material [13], por ello es importante determinarla.

En ese sentido, el primer paso fue determinar la humedad inicial de la lámina de bioplástico, por pérdida de peso de la muestra. Posteriormente, se expuso la muestra a un ambiente saturado de humedad y se pesaba diariamente su ganancia de peso, los resultados son los siguientes:

Tabla 6. Cálculos de humedad inicial del bioplástico [Elaboración propia]

	Muestra 1 (gramos)	Muestra 2 (gramos)	
Masa de capsula vacía + muestra inicial (M)	28.1020	28.3678	$\% \text{ Humedad} = \frac{(M - m)}{M} \times 100$ <p><b>%Humedad promedio: 22.15%</b></p>
Masa de capsula + muestra seca (m)	27.799	27.9419	
%humedad	22.8913	21.4149	

Se considera un resultado relativamente alto, lo cual impactó en el aspecto del bioplástico y en la reducción en sus valores de resistencia a la tracción y dureza, como se podrá apreciar más adelante. La explicación de este valor tan alto de humedad; es debido a que en su formulación se utilizó materiales de relleno que tienen propiedades higroscópicas.

Tomando en cuenta que el porcentaje de humedad inicial del bioplástico es de 22.15%, se procedió a registrar y representar gráficamente la ganancia de peso (expresada como porcentaje) en las probetas de bioplástico, las cuales fueron expuestas a un ambiente saturado de humedad; tal y como sigue:

Tabla 7. Porcentaje de absorción de agua del bioplástico por día [Elaboración propia]

		Masa de muestra 1 (g)	Masa de muestra 2 (g)	$\% \text{Abs de agua} = \frac{[Mf-Mi]}{Mi} \times 100$ Valores promedio
	Muestra inicial (Mi)	0.9300	1.5639	22.15
Día 1	Masa final (Mf)	1.2862	1.9453	31.34
Día 2	Masa final (Mf)	1.4623	2.1448	47.19
Día 3	Masa final (Mf)	1.4918	2.2219	51.24
Día 4	Masa final (Mf)	1.5517	2.3091	57.25
Día 5	Masa final (Mf)	1.5871	2.3626	60.86

Gráficamente los resultados se representan así:

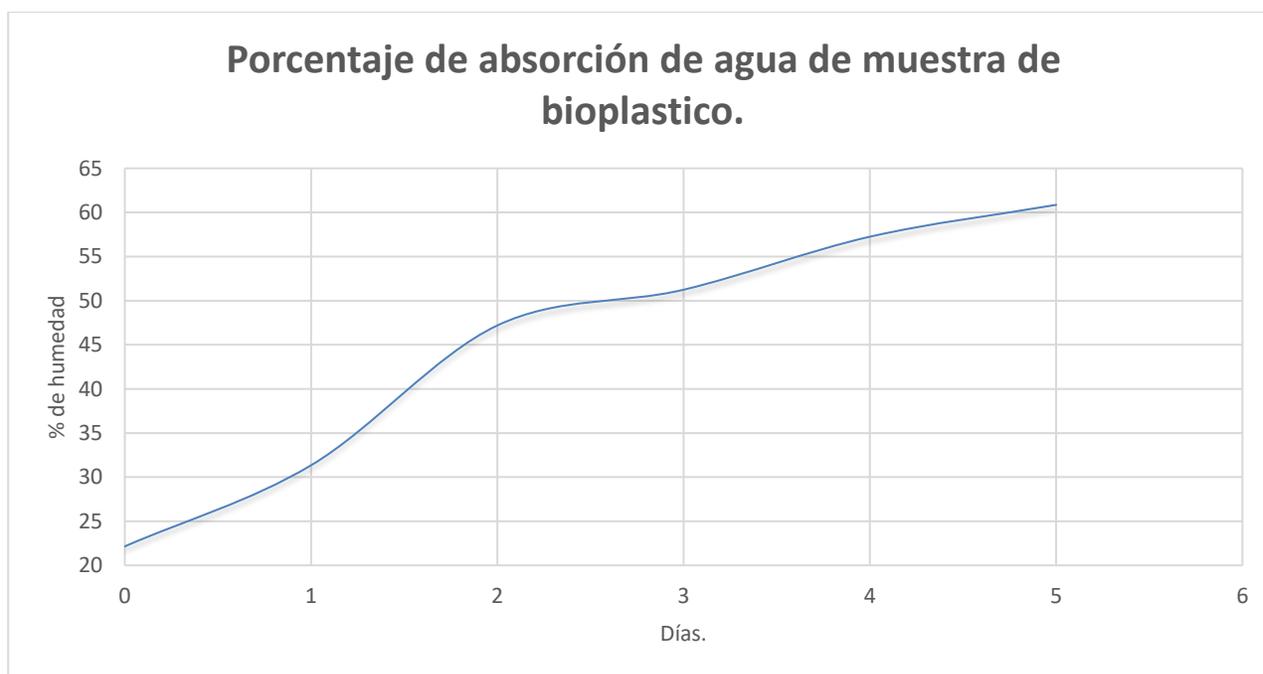


Figura 15. Gráfico de porcentaje de humedad absorbida por día [Elaboración propia]

Puede verse que la velocidad a la que el material absorbe agua es alta. Esta característica coincide con plásticos polares como la poliamida; en cambio, los no polares como el polietileno, polipropileno, poliestireno y polietileno teraftalato absorben muy poca humedad conforme transcurre el tiempo [14].

La velocidad con que se absorbe el agua depende en gran medida de la relación superficie/ volumen de la pieza. Y como ya se mencionó anteriormente, la absorción de agua implica una alteración de las características mecánicas y de aspecto del material.

### 7.2.2. DENSIDAD APARENTE

Consiste en determinar la masa por unidad de volumen, se expresa en g/cc. Las normas para control de calidad de plásticos (UNE 53020, ASTM D 1505, DIN 53479) describen hasta cuatro métodos para determinar esta magnitud [14].

En este estudio se midieron los volúmenes de 5 probetas del bioplástico de 4.0 x 4.0 cm, las cuales también fueron pesados en balanza analítica. He aquí los resultados.

Tabla 8. Cálculos para determinar la densidad aparente del bioplástico [Elaboración propia]

Probeta No:	Volumen v (cm <sup>3</sup> )	masa m (g)	densidad = m / v (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.9320	1.2419	1.3325
2	1.0928	1.2026	1.1005
3	1.0220	0.9941	0.9727
4	0.9494	1.0996	1.1583
5	0.7370	0.8785	1.1921
Densidad promedio			≈1.15 g/cm <sup>3</sup>

Cabe mencionar que, gran parte de los polímeros derivados del petróleo tienen una densidad entre 0,9 y 1,3 [15]. En la siguiente tabla se pueden visualizar los valores de densidad de varios polímeros:

Tabla 9. Tabla de densidades de varios polímeros [15]

Material	Densidad
Poliestireno expandido	1,06
Poliamida 6	1,15
Poliamida 6-6	1,13
Poliuretano	1,17/1,20

Polivinil acetal	1,10/1,25
Polivinilbutiral	1,10/1,20
Polialcohol vinílico	1,21/1,32
Resina poliéster	1,12
Resina epoxi	1,10/2,40

Por lo tanto, en términos comparativos, el bioplástico fabricado en el laboratorio se asemeja mucho a las poliamidas, lo cual es concordante con su comportamiento en cuanto a absorción de humedad.

### 7.2.3. CONTENIDO EN MATERIALES VOLÁTILES

Esta prueba cuantifica el contenido de cenizas (base seca) de los materiales. Para realizar el ensayo se introduce un crisol con la muestra en el interior de horno *muffla* a 600° C y se mantiene hasta pesada constante [14].

Los resultados fueron los siguientes:

$$\%ceniza = \frac{(P_1 - P_2)}{(P - P_1)} \times 100$$

Donde:

P = peso en gramos del crisol + muestra.

P1 = peso en gramos del crisol + ceniza.

P2 = peso en gramos del crisol vacío.

Tabla 10. Cálculos para determinar contenido en materiales volátiles del bioplástico.  
[Elaboración propia]

CENIZAS	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	
Crisol vacío (P2)	30.1902	27.6237	
Crisol + muestra (P)	32.9925	30.9891	
Crisol + cenizas (P1)	30.8179	28.3001	$\%ceniza = \frac{(P_1 - P_2)}{(P - P_1)} \times 100$
% cenizas	28.8651	25.1543	<b>≈27.01%</b>

Este resultado puede interpretarse como una aproximación de la carga inorgánica del material. El bioplástico obtenido en el laboratorio si contiene sustancias inorgánicas (carbonatos y cloruros) como sustancias de relleno; por lo cual este contenido de cenizas es consistente con la composición del material. Además, queda en evidencia que el mayor contenido del bioplástico es agua y sustancias orgánicas.

### 7.3. RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS

#### 7.3.1. DUREZA SHORE

Esta prueba evalúa la dureza superficial del material midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada cuando se presiona contra el material. Se puede medir con instrumentos simples.

El método *Shore A* se aplica a plásticos blandos, por ejemplo, PVC plastificado. El método *Shore D* se emplea para plásticos más duros.

La dureza *Shore* se expresa en unidades de *Shore A* o *D*. Son posibles deferencias de 2-3 unidades *Shore*. Es muy importante realizar la medida siempre al mismo tiempo [14].

La prueba de dureza al bioplástico se realizó en el laboratorio de Resistencia de Materiales de ITCA-FEPADE. El equipo utilizado fue un escleroscopio que reporta mediciones en la escala Shore C. También resultó conveniente utilizar esa escala debido a que se aplica a pruebas de plásticos de dureza intermedia. Se utilizaron 3 probetas de bioplástico de 0.5 cm de espesor. Los resultados fueron los siguientes.

Tabla 11. Resultados de dureza Shore C del bioplástico [Elaboración propia]

Probeta No	Dureza Shore C	Dureza Shore C (promedio)
1	25	20
2	20	
3	15	

Por los resultados obtenidos, se puede decir que esa magnitud se asemeja mucho a la que tienen las gomas, elastómeros y plásticos de dureza media. Sin embargo, es importante aclarar que el bioplástico fabricado en el laboratorio no ha sido sometido a procesos de extrusión o moldeo por inyección, los cuales cambian el nivel de cristalinidad y la orientación de las fibras del material; estas características influyen de forma significativa en la dureza de un plástico.

### 7.4. RESULTADOS DE PRUEBAS QUÍMICAS

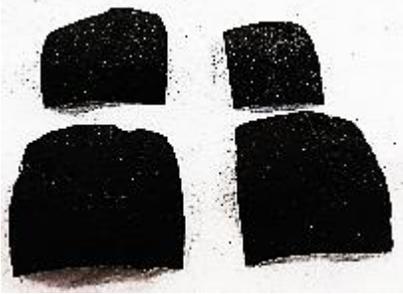
#### 7.4.1. BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO

La biodegradación es la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos. Los bioplásticos se pueden degradar por acción biológica, química, fotodegradación, o una combinación de algunas de ellas [16].

Por lo tanto, en este estudio se procedió a comprobar que el material fabricado en el laboratorio era biodegradable, para ello, se usó un método cualitativo, basado en la observación de los cambios en sus propiedades físicas a través del tiempo; y otro, cuantitativo en el cual por medio una volumetría ácido – base se cuantificó el dióxido de carbono liberado por el biomaterial. Los resultados se detallan a continuación:

### Evaluación cualitativa de la biodegradación del bioplástico

Se almacenaron tres probetas de bioplástico en un desecador con agua. Y se evaluaron diariamente los cambios físicos observados (cambio de color, olor, forma o textura). Cabe mencionar que las condiciones ambientales promedio en el periodo de prueba fueron: temperatura ambiente de 27.1°C y aproximadamente 100 % de humedad relativa. A continuación, se presentan los resultados.

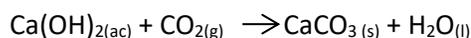
TIEMPO (DÍAS)	BIODEGRADACIÓN	CARACTERÍSTICAS
0		Color: pardo, Olor: dulce. Consistencia; semi rígida.
7		Color: pardo y brillante, Olor: dulce. Consistencia; gelatinosa.
14		Color: pardo y brillante, Olor: dulce. Consistencia; gelatinosa.

19		Color: pardo con manchas verdes y blancas, Olor: dulce. Consistencia; gelatinosa.
----	---	---

Cualitativamente se puede decir que la película obtenida es degradable, ya que se almacenó en las condiciones ambientales de temperatura: 27.1°C y aproximadamente 100% de humedad relativa, durante 21 días y presentó características físicas que evidenciaron su degradación, sin ser sometida a condiciones de compostaje.

#### Evaluación cuantitativa de la biodegradación del bioplástico

El cálculo se basa en la estequiometría, partiendo de la siguiente reacción que se dió en cada contenedor:



Se tituló el remanente de hidróxido de calcio, después de 15 días, con lo que se puede determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que reaccionó tomando en cuenta las condiciones originales (solución de hidróxido de calcio 0.025 N), como en la reacción puede observarse la relación entre hidróxido y dióxido de carbono es directamente proporcional, en cuanto a moles; por lo cual sabiendo la cantidad que reaccionó de uno, se sabe también cuánto reaccionó o se ha producido del otro [16]. Para cuantificar el porcentaje de biodegradabilidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ biodegradabilidad} = \frac{\text{gramos CO}_2 \text{ producidos experimentalmente}}{\text{gramos CO}_2 \text{ teóricos}} * 100$$

Los resultados de la tierra compostada (blanco), bolsa biodegradable (polietileno + bioplástico) y el bioplástico se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de porcentaje de biodegradabilidad del bioplástico [Elaboración propia]

MUESTRA	CO <sub>2</sub> PRODUCIDO (GRAMOS)	% BIODEGRADABILIDAD.
TIERRA COMPOSTADA	0.044	95.99
BOLSA BIODEGRADABLE	0.040	87.19
BIOPLÁSTICO	0.044	95.99

De acuerdo a la norma ASTM D – 6400 un material bioplástico puede considerarse biodegradable si genera biomasa (como el dióxido de carbono) producido por microorganismos, en presencia de solución de hidróxido de bario. Lo cual quedó demostrado con el experimento realizado.

Así mismo, se pudo determinar su porcentaje de degradación siendo este igual al de la tierra abonada y, mayor que el de la bolsa biodegradable (combinación de polietileno + bioplástico); a pesar que el tiempo de experimentación fue de 15 días, la producción de CO<sub>2</sub> fue considerable, la cual se evidenció por la formación de un precipitado blanco en los contenedores de la solución de hidróxido de calcio, y por reacción presentada en la titulación ácido – base, para determinar la cantidad producida.

Es importante mencionar que se modificó el método propuesto en la norma ASTM D – 6400, pues se sustituyó el hidróxido de bario, por hidróxido de calcio.

## 8. CONCLUSIONES

1. A partir de los resultados de las pruebas físicas, mecánicas y de biodegradabilidad al bioplástico elaborado a partir de cáscaras de coco y papaya, se determinó que el material obtenido en el laboratorio era susceptible de biodegradarse por la acción de microorganismos y que tiene propiedades plásticas. Esto destaca la importancia que tienen el almidón y la fibra de las frutas como materias primas para la elaboración de bioplásticos, presentándose como un material alternativo a los plásticos derivados del petróleo.
2. De la elaboración del plástico biodegradable se determinó que la velocidad de secado y cantidades de almidón y glicerina son factores muy importantes, ya que afectan la elasticidad y estabilidad del material a través del tiempo. Si el secado es rápido y a altas temperaturas se produce un material quebradizo, frágil; por otro lado, si esta operación se realiza de forma gradual se obtiene una película elástica. En cuanto a la relación almidón/glicerina, al aumentar las proporciones de esta última en la formulación se obtenía un producto más elástico.
3. Bajo las condiciones de temperatura del 27.1°C y humedad relativa próxima al 100% se pudo comprobar de forma cualitativa que el plástico se degrada en 19 días según los registros de la prueba de biodegradabilidad.
4. En cuanto a las pruebas mecánicas, el bioplástico 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 secundario si este no se expone a altas temperaturas.
5. En cuanto a los resultados de la prueba de biodegradabilidad, basados en una modificación del procedimiento mostrado en la norma ASTM D - 6400. Se demostró que el bioplástico es biodegradable, puesto que generó dióxido de carbono mientras permanecía en un medio de tierra compostada y microorganismos; el dióxido de carbono reaccionó con el hidróxido de calcio y produjo un precipitado de carbonato de calcio, el cual se cuantificó por una titulación ácido – base. Lo que significa que el proceso enzimático por parte de los microorganismos que atacaron al bioplástico convirtiéndolo en CO<sub>2</sub>, humus y agua, fue también efectivo comprobando que el material si es biodegradable y muy probablemente compostable. También se compararon los resultados de porcentaje de biodegradabilidad con una bolsa de bioplástico comercial, a las mismas condiciones y

el mismo número de días; siendo el comportamiento de ambos sustratos muy similar en cuanto a producción de biomasa. Por lo tanto, el bioplástico obtenido de las cáscaras de papaya y de coco, puede ser una alternativa en el mercado de los empaques secundarios y así, tratar de contribuir a la reducción de la contaminación medio ambiental.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Profundizar la investigación en cuanto a probar si el bioplástico obtenido en el laboratorio es susceptible de ser utilizado en máquinas de inyección, soplado, termoformado u otros a escala industrial.
2. Involucrar una investigación de tipo económica para conocer la viabilidad de este tipo de material.

## 10. GLOSARIO

**ANAEROBIO.** Microorganismo que crece y que vive en ausencia completa o casi completa de oxígeno. Un ejemplo de ello es *Clostridium botulinum*. Son tipos de anaerobios los anaerobios facultativos y los anaerobios estrictos.

**BIODEGRADABLE.** Es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

**BIOMASA.** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**BIOPOLÍMERO.** Macromoléculas presentes en los seres vivos.

**BIOPLÁSTICO.** tipo de plásticos derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja, el maíz o la fécula de patata, a diferencia de los plásticos convencionales, derivados del petróleo.

**COMPOSTABLE.** Material orgánico que puede ser convertido en compost.

**DIÓXIDO DE CARBONO.** Fórmula química  $\text{CO}_2$ , es un gas incoloro. Este compuesto químico está compuesto de un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. Es un producto de la respiración de todos los organismos aerobios. Se produce  $\text{CO}_2$  durante los procesos de descomposición de materiales orgánicos y la fermentación de azúcares.

**DUREZA.** Es la capacidad de oponer resistencia a la deformación superficial por un material más duro.

**HIGROSCOPÍA.** Es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante.

**MACROMOLECULA.** Son moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos.

**POLIFENOLES.** Grupo de sustancias químicas encontradas en plantas caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol por molécula. Los polifenoles son generalmente subdivididos en taninos hidrolizables, que son ésteres de ácido gálico de glucosa y otros azúcares; y fenilpropanoides, como la lignina, flavonoides y taninos condensados.

POLIHIDROXIALCANOATOS o PHA. Son poliésteres lineales producidos en la naturaleza por la acción de las bacterias por fermentación del azúcar o lípidos. Las bacterias los producen como mecanismo de almacenamiento de carbono y energía. Se usan en la producción de biopolímeros.

POLÍMEROS. Macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

PROPIEDADES MECÁNICAS. Las propiedades mecánicas son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza. Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas que actúan momentáneamente tienen carácter de choque.

RESISTENCIA. Se refiere a la propiedad que presentan los materiales para soportar las diversas fuerzas. Es la oposición al cambio de forma y a la separación, es decir a la destrucción por acción de fuerzas o cargas.

VALORACIÓN ÁCIDO – BASE. También llamada volumetría ácido-base o titulación ácido-base, es una técnica o método de análisis cuantitativo, que permite conocer la concentración desconocida en una disolución de una sustancia que pueda actuar como ácido, neutralizada por medio de una base de concentración conocida, o bien sea una concentración de base desconocida neutralizada por una solución de ácido conocido. Es un tipo de valoración basada en una reacción ácido-base o reacción de neutralización entre el analito (la sustancia cuya concentración queremos conocer) y la sustancia valorante. El nombre *volumetría* hace referencia a la medida del volumen de las disoluciones empleadas, que nos permite calcular la concentración buscada.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

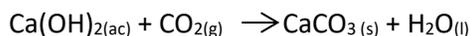
- [1] D. S. Taunk, «Composition of biodegradable/bio-plastic material and using the same to make consumable products». Estados Unidos Patente US20140209841A1, 2014.
- [2] E. Budina, «Bioplastics». Estados Unidos Patente US9085677B2, 2012.
- [3] G. Perotto, I. Bayer y A. Athanosiu, «A process for the preparation of biodegradable plastic films». Italia Patente WO2018134702A1, 2018.
- [4] M. N. S. Sotelo, «Polymer Biodegradable from Starch extracted from Cascara de Banana to scale,» [En línea]. Available: [http://aidisnet.org/PDF\\_mem/9CREG4/ID114.pdf](http://aidisnet.org/PDF_mem/9CREG4/ID114.pdf).
- [5] C. H. I. Arrivillaga, «SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (,» Guatemala, 2013.
- [6] Instituto Politecnico Nacional, *UTILIZAN HARINA DE PLÁTANO PARA ELABORAR PLÁSTICO BIODEGRADABLE*, Ciudad de México, 2014.
- [7] Y. Londoño Q, «Propuesta de una línea de empaques biodegradables a partir de fibra de coco y bambú laminado.,» Medellín., 2017.

- [8] H. Á. Vargas, M. Espilco Barrera, A. Medina Calderón, M. Reyes Conde, J. Rojas Barnett, V. Napuri y Jesús., «Tendencias Tecnológicas en los Biopolímeros y Plásticos Biodegradables: Un Caso de Estudio de Vigilancia Tecnológica.» *Electrónica - UNMSM*, vol. 17, nº 2, pp. 106-11, 2014.
- [9] G. Ruiz Avilés, «Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.» *Ingeniería y Ciencia*, vol. 4, pp. 5-28, 2006.
- [10] J. Meneses, C. M. Corrales y M. Valencia, «Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.» *Revista EIA*, vol. 8, pp. 57-67, 2007.
- [11] J. Mina, A. Valadez, P. Herrera Franco y T. Toledano, «Influencia del tiempo de almacenamiento en las propiedades estructurales de un almidón termoplástico de yuca (TPS),» *Ingeniería y Competitividad*, vol. 11, nº 2, pp. 53-61, 2011.
- [12] V. Y. Carrillo y N. E. S. Muñoz, «Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable,» San Salvador, 2013.
- [13] MEXPOLÍMEROS, «Mexpolímeros,» [En línea]. Available: <https://www.mexpolimeros.com/humedad.html>. [Último acceso: 12 diciembre 2019].
- [14] F. J. Ereño Gaiker, «Ensayos de control de calidad en la inyección,» 1 noviembre 1999. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6257-Ensayos-de-control-de-calidad-en-la-inyeccion.html>. [Último acceso: 12 diciembre 2019].
- [15] Mariano, «Tecnología de los Plásticos,» 28 junio 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-fisicas.html>. [Último acceso: 5 noviembre 2019].
- [16] A. V. García, «Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz,» ITCA Editores., Santa Tecla, 2014.
- [17] Full Mecánica, «Full Mecánica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/d/354-dureza-rockwell-superficial>. [Último acceso: 17 diciembre 2019].

## 12. ANEXOS

### 12.1. ANEXO A. CÁLCULOS DE PORCENTAJE DE BIODEGRADABILIDAD

El cálculo se basa en la estequiometría, partiendo de la siguiente reacción que se dio en cada recipiente plástico.



Se tituló el remanente de hidróxido de calcio, después de 15 días, con lo que se puede determinar la cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que reaccionó tomando en cuenta las condiciones originales (solución de hidróxido de calcio 0.025 N), como en la reacción puede observarse la relación entre hidróxido y dióxido de carbono es directamente proporcional; por lo cual sabiendo la cantidad que reacciono de uno, se sabe también cuánto reaccionó o se ha producido del otro.

Así:

g  $\text{Ca(OH)}_2$  iniciales : 0.0463081 g (es decir lo que hay en 50 mL de sln 0.025 N de hidróxido en el día cero).

g  $\text{Ca(OH)}_2$  día 15 =  $\text{NHCl} \times \text{Volumen promedio de HCl gastado en la titulación} \times (\text{meq hidróxido de calcio})$ .

Para el blanco:

g  $\text{Ca(OH)}_2$  día 15 =  $0.1 \text{ N} \times 0.5 \text{ ml} \times (74.093/2000) = 0.001852325$  gramos.

Gramos de  $\text{Ca(OH)}_2$  que reaccionaron: gramos iniciales – gramos día 15.

Gramos que reaccionaron =  $(0.0463081 - 0.001852325) \text{ g} = 0.044456 \text{ g}$

Lo cual quiere decir que la masa de  $\text{CO}_2$  experimental producida por la tierra en ese periodo de tiempo, de acuerdo a la estequiometría de la reacción, fue:

74.093 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con 44.01 g de  $\text{CO}_2$

0.044456 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con X g de  $\text{CO}_2$        $X = 0.0264061 \text{ g de } \text{CO}_2$

Pero la masa de  $\text{CO}_2$  teóricos que tendrían que haber reaccionado con los 0.0463081 g de hidróxido de calcio iniciales es de 0.02751 g.

Entonces:

Porcentaje biodegradabilidad =  $\text{g } \text{CO}_2 \text{ producidos experimentalmente} / \text{g } \text{CO}_2 \text{ teóricos}$ .

%Biodegradabilidad =  $0.0264061 \times 100 / 0.02751 \text{ g} = 95.99\%$

PARA LA BOLSA BIODEGRADABLE:

g  $\text{Ca(OH)}_2$  día 15 =  $0.1 \text{ N} \times 1.6 \text{ ml} \times (74.093/2000) = 0.00592744$  gramos.

Gramos que reaccionaron: gramos iniciales – gramos día 15.

Gramos que reaccionaron =  $(0.0463081 - 0.00592744) \text{ g} = 0.04038066 \text{ g}$

Lo cual quiere decir que la masa de  $\text{CO}_2$  experimental producida por la tierra en ese periodo de tiempo, de acuerdo a la estequiometría de la reacción, fue:

74.093 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con 44.01 g de  $\text{CO}_2$

0.04038066 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con X g de  $\text{CO}_2$        $X = 0.023985$  g de  $\text{CO}_2$

Pero la masa de  $\text{CO}_2$  teóricos que tendrían que haber reaccionado con los 0.0463081 g de hidróxido de calcio iniciales es de 0.02751 g.

Entonces:

Porcentaje biodegradabilidad = g  $\text{CO}_2$  producidos experimentalmente/ g $\text{CO}_2$  teóricos.

%Biodegradabilidad =  $0.023985 * 100 / 0.02751$  g = 87.1865 %

PARA EL BIOPLÁSTICO:

g  $\text{Ca(OH)}_2$  día 15 =  $0.1 \text{ N} \times 0.5 \text{ ml} \times (74.093/2000) = 0.001852325$  gramos.

Gramos de  $\text{Ca(OH)}_2$  que reaccionaron: gramos iniciales – gramos día 15.

Gramos que reaccionaron =  $(0.0463081 - 0.001852325)$  g = 0.044456 g

Lo cual quiere decir que la masa de  $\text{CO}_2$  experimental producida por la tierra en ese periodo de tiempo, de acuerdo a la estequiometria de la reacción, fue:

74.093 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con 44.01 g de  $\text{CO}_2$

0.044456 g  $\text{Ca(OH)}_2$  reaccionan con X g de  $\text{CO}_2$        $X = 0.0264061$  g de  $\text{CO}_2$

Pero la masa de  $\text{CO}_2$  teóricos que tendrían que haber reaccionado con los 0.0463081 g de hidróxido de calcio iniciales es de 0.02751 g.

Entonces:

Porcentaje biodegradabilidad = g  $\text{CO}_2$  producidos experimentalmente/ g $\text{CO}_2$  teóricos.

%Biodegradabilidad =  $0.0264061 * 100 / 0.02751$  g = 95.99%

## 12.2. ANEXO B. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

Los dispositivos en los cuales se realizó la prueba de biodegradabilidad del bioplástico se construyeron de la siguiente manera:



Se pesaron 100 gramos de tierra negra abonada con compost, y se le agregaron 50 ml de agua destilada, la mezcla se dispuso en contenedores plásticos.



Se dividieron las muestras (bioplástico y bolsa hecha parcialmente de material biodegradable) en cuadros pequeños para facilitar su mezclado con la tierra abonada.



Los contenedores con la mezcla de tierra abonada, agua y muestra se cerraron y se dejaron en reposo. El contenedor tiene como única salida al ambiente una manguera tal y como se puede apreciar en la imagen.



Los contenedores con muestras se conectan por medio de una manguera a otros recipientes herméticamente cerrados y que tienen 100 ml de solución de hidróxido de bario 0.025 N. El sistema se deja en reposo durante 15 días.

### 12.3. ANEXO C. VALORACIÓN ÁCIDO BASE PARA CUANTIFICAR BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO

Como ya se dijo en el procedimiento, después de 15 días, se titularon los remanentes de solución de hidróxido de calcio de los contenedores que recibieron el dióxido de carbono producido por la biomasa, utilizando como valorante HCl 0.1 N estándar. La titulación se detuvo hasta obtener el color rosado típico del viraje del indicador de fenolftaleína utilizado, tal y como se puede apreciar en la fotografía siguiente.



## 12.4. ANEXO D. NORMAS UTILIZADAS

### **ASTM D-6400 Especificación estándar para plásticos compostables**

Esta norma cubre los plásticos y los productos elaborados a partir de plásticos que están diseñados para ser compostado en municipales y las instalaciones de compostaje aeróbico industriales.

Aunque la ASTM D6400 se desarrolló para plásticos, también se puede usar para muchos otros materiales sólidos, incluidos productos de papel, textiles, espuma y envases de alimentos.

La serie de ASTM D6400 es una prueba de biodegradación de cuatro partes para evaluar la biodegradabilidad que incluye análisis elemental, germinación de plantas (fitotoxicidad) y filtración de malla de las partículas resultantes.

Como método de prueba del producto, el ASTM 6400 proporciona condiciones de compostaje como un medio para evaluar la biodegradación de materiales terminados y materias primas o ingredientes.

El método de prueba ASTM D6400 utiliza un conjunto de condiciones que favorecen a los microorganismos que prosperan por encima de los 50 grados centígrados, lo que hace que el método de prueba sea algo selectivo para la biodegradación bacteriana. Este componente del método de prueba favorece los tipos de materiales bioplásticos, y es posible que no proporcione paridad de prueba al comparar el ASTM D6400 con otros métodos de prueba como el ISO 16929. Además, el método no pretende representar condiciones de compostaje en un hogar instalación de compost, ya que no es probable que se cumplan los requisitos de temperatura de compostaje en una instalación doméstica durante un período prolongado de tiempo.

La serie de pruebas ASTM D6400 estándar dura un mínimo de 90 días. Las pruebas pueden durar hasta 180 días.

Expuesto a un inóculo derivado de un flujo de residuos municipales, el material se biodegradará (idealmente) en un entorno representativo como se encuentra comúnmente en las instalaciones de compostaje estándar.

Para hacer declaraciones de compostabilidad, ASTM D6400 es el método de prueba de compostabilidad recomendado para una amplia gama de componentes industriales y productos de consumo.

Esta norma cubre los plásticos biodegradables y productos (incluido el envasado), donde la película de plástico o lámina es adjunta (ya sea a través de laminación o extrusión directamente sobre el papel) a sustratos y el producto o paquete completo es diseñado para ser compostados en aeróbica municipales e industriales instalaciones de compostaje.

### **NORMA ASTM D1505-18**

Significado y uso:

La densidad de un sólido es una propiedad convenientemente medible que con frecuencia es útil como un medio para seguir los cambios físicos en una muestra, como una indicación de uniformidad entre las muestras y como un medio de identificación.

Este método de prueba está diseñado para obtener resultados precisos mejores que 0.05%.

Alcance:

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la densidad de plásticos sólidos.

1.2 Este método de prueba se basa en observar el nivel al que se hunde una muestra de prueba en una columna líquida que exhibe un gradiente de densidad, en comparación con los estándares de densidad conocida.

1.3 Los valores establecidos en unidades SI deben considerarse como el estándar.

1.4 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

### **NORMAS PARA DETERMINAR ABSORCIÓN DE AGUA (UNE 53028, DIN 53495, ISO 62)**

Consiste en cuantificar el agua retenida por el termoplástico en condiciones normalizadas. Es una prueba muy sencilla que sólo precisa de una balanza y un baño termostático. Se expresa en mg o en % y se suele hacer por inmersión de las probetas a 23<sup>o</sup> C durante 24 h aunque también pueden realizarse ensayos a largo plazo para representar la absorción de agua en función del tiempo de inmersión, o del tiempo hasta saturación.

### **NORMA PARA DETERMINAR DUREZA SHORE ASTM D2240**

Alcance.

La dureza del durómetro se usa para determinar la dureza relativa de materiales blandos, generalmente plástico o caucho. La prueba mide la penetración de un penetrador específico en el material bajo condiciones específicas de fuerza y tiempo. El valor de dureza a menudo se usa para identificar o especificar una dureza particular de elastómeros o como una medida de control de calidad en muchos materiales.

Procedimiento de prueba.

La muestra se coloca primero sobre una superficie plana y dura. Luego se presiona el interior del instrumento en la muestra asegurándose de que esté paralela a la superficie. La dureza se lee dentro de un segundo (o según lo especificado por el cliente) del contacto firme con la muestra.

Tamaño de la muestra.

Las muestras de prueba son generalmente de 6,4 mm (¼ in) de espesor. Es posible apilar varias muestras para alcanzar el grosor de 6.4 mm, pero se prefiere una muestra.

Datos.

Los números de dureza se derivan de una escala. Las escalas de dureza Shore A y Shore D son comunes, ya que la escala A se usa para materiales más blandos y la escala D para materiales más duros.

### **NORMATIVA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN**

La norma ASTM es D 638 (D 638 M es métrica). La unidad SI es el pascal (Pa=N/m<sup>2</sup>), pero también se usa la libra por pulgada cuadrada (psi). Los plásticos comerciales sin plastificar ni llevar fibras muestran desde 14 hasta 140 MPa (2 a 20 psi).



## SEDE CENTRAL Y CENTROS REGIONALES



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

### 1 SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.  
Tel.: (503) 2132-7400

### 2 CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.  
Tel.: (503) 2440-4348

### 3 CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión.  
Tel.: (503) 2668-4700

### 4 CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.  
Tel.: (503) 2334-0763 y  
(503) 2334-0768

### 5 CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.  
Tel.: (503) 2669-2298