



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**Obtención de un polímero biodegradable a partir de desechos del desfibrado de abacá  
(*Musa textillis*) para evitar la contaminación producida en la parroquia Monterrey  
del cantón La Concordia**

**JASMIN VALERIA DAVALOS PARRAGA**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante  
el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para  
la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

JULIO 2022

**©2022, Jasmin Valeria Dávalos Párraga**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado **Obtención de un polímero biodegradable a partir de desechos del desfibrado de abacá (*Musa textillis*) para evitar la contaminación producida en la parroquia Monterrey del cantón La Concordia**, de responsabilidad de Jasmin Valeria Dávalos Párraga ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; Ph. D.  
**PRESIDENTE**



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS EDUARDO  
HIDALGO  
ALMEIDA**

Dr. Sergio Julio Nuñez Solano; Ph. D.  
**TUTOR**



Firmado electrónicamente por:  
**SERGIO JULIO  
NUNEZ SOLANO**

Ing. Juan Carlos González García; Ph. D.  
**MIEMBRO**



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN CARLOS  
GONZALEZ  
GARCIA**

Ing. Segundo Hugo Calderón; Mag.  
**MIEMBRO**



Firmado electrónicamente por:  
**SEGUNDO HUGO  
CALDERON .**

Riobamba, julio, 2022

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Jasmin Valeria Dávalos Párraga, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Firmado electrónicamente por:  
**JASMIN VALERIA  
DAVALOS PARRAGA**

---

Jasmin Valeria Dávalos Párraga  
CI: 1718880493

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi hija Darla por ser mi motor, mi guía y la fuerza para seguir adelante y no desmayar en el camino y poder alcanzar todos mis sueños y metas.

**Jasmin**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por sobre todas las cosas, por su infinito amor y bendiciones, por instruir mi caminar y hacer posible todos mis anhelos y metas, permitirme llegar hasta donde estoy hoy; y seguir creciendo a nivel profesional.

A mis padres Alberto y Camila por seguir apoyando mis sueños y metas, por estar siempre presentes y darme la mano para seguir adelante en momentos difíciles.

A mis hermanos y familia por estar siempre presente y apoyarme sin importar la situación.

A los colegas, en especial mis tutores y demás profesores que han estado predispuestos con su tiempo y conocimiento.

A todas las personas que fueron de bendición en toda esta etapa de mi vida.

**Jasmin**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>

### CAPÍTULO I

<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.1 Situación problemática</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Justificación de la investigación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Objetivos de la investigación</b> .....	<b>5</b>
<i>1.5.1 Objetivo general</i> .....	<i>5</i>
<i>1.5.2 Objetivos específicos</i> .....	<i>5</i>
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	<b>6</b>

### CAPÍTULO II

<b>2.MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Antecedentes del problema</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	<b>7</b>
<i>2.2.1 Abacá</i> .....	<i>7</i>
<i>2.2.2 Bioplástico</i> .....	<i>10</i>
<i>2.2.3 Formulación de bioplásticos</i> .....	<i>11</i>
<i>2.2.4 Obtención de bioplásticos</i> .....	<i>12</i>
<i>2.2.4.1 Caracterización de materiales poliméricos</i> .....	<i>12</i>
<i>2.2.4.2 Espectroscopia infrarroja</i> .....	<i>13</i>
<i>2.2.4.3 Extracción de fibra</i> .....	<i>13</i>
<i>2.2.4.4 Matriz de soporte</i> .....	<i>15</i>
<i>2.2.4.5 Polímeros biodegradables</i> .....	<i>15</i>
<i>2.2.4.6 Tipos de moldeo para obtener matrices</i> .....	<i>15</i>
<i>2.2.5.7 Reticulación química</i> .....	<i>16</i>
<b>2.2.5 Determinación humedad</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.6 Determinación de fibras</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.7 Determinación de celulosa</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.8 Ácido acético</b> .....	<b>18</b>

## CAPÍTULO III

<b>3.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Tipo y diseño de investigación.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Métodos de investigación.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Enfoque de la investigación .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Alcance de la investigación.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5 Metodología .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5.1 Diagnóstico de la situación actual.....</b>	<b>20</b>
3.5.1.1 Etapa de observación.....	20
3.5.1.2 Encuesta aplicada.....	21
3.5.1.3 Etapa de determinación de cantidad de residuos .....	23
<b>3.5.2 Muestreo .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3 Formulación del polímero biodegradable .....</b>	<b>24</b>
3.5.3.1 Preparación de la muestra.....	25
3.5.3.2 Caracterización de la muestra.....	25
3.5.3.3 Extracción de celulosa para la formulación.....	27
3.5.3.4 Formulación.....	28
<b>3.5.4 Secado y moldeo .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5.5 Evaluación de propiedades mecánicas y biodegradabilidad del polímero .....</b>	<b>30</b>
3.5.5.1 Tracción.....	30
3.5.5.2 Espectroscopia de infrarrojo .....	32
3.5.5.3 Biodegradabilidad .....	33
<b>3.5.6 Socialización de la investigación .....</b>	<b>33</b>

## CAPÍTULO IV

<b>4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Diagnóstico de la situación actual.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Muestreo .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Formulación del polímero biodegradable .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2 Caracterización de la muestra .....</b>	<b>48</b>
4.3.2.1 Espectroscopia de infrarrojo:.....	48
4.3.2.2 Determinación del porcentaje de humedad .....	50
4.3.2.3 Determinación de grasa.....	52
4.3.2.4 Determinación de porcentaje de celulosa.....	52
<b>4.3.3 Extracción de celulosa para la formulación .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.4 Formulación.....</b>	<b>54</b>



<b>4.4 Secado y moldeo .....</b>	<b>55</b>
<b>4.5 Evaluación de propiedades mecánicas y biodegradabilidad del polímero.....</b>	<b>56</b>
<i>4.5.1 Tracción.....</i>	<i>56</i>
<i>4.5.2 Espectroscopía de infrarrojo.....</i>	<i>58</i>
<i>4.5.3 Biodegradabilidad .....</i>	<i>61</i>
<b>4.6 Socialización del Proyecto .....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3</b> Formato para la formulación.....	28
<b>Tabla 1-4</b> Tamaño de muestra para la aplicación de la encuesta .....	35
<b>Tabla 2-4</b> Resultados Pregunta 1 ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Sunke?.....	35
<b>Tabla 3-4</b> Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 1 .....	35
<b>Tabla 4-4</b> Resultados pregunta 2 ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Tuxe?.....	36
<b>Tabla 5-4</b> Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 2.....	37
<b>Tabla 6-4</b> Resultados pregunta 3 ¿Qué destino se da a los residuos de la etapa de extracción de la Fibra?.....	37
<b>Tabla 7-4</b> Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 3.....	38
<b>Tabla 8-4</b> Resultados pregunta 9.....	39
<b>Tabla 9-4</b> Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 9 .....	40
<b>Tabla 10-4</b> Resultado pregunta 10 .....	40
<b>Tabla 11-4</b> Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 10.....	41
<b>Tabla 12-4</b> Resultados productores según número de variedades que poseen en sus cultivos....	42
<b>Tabla 13-4</b> Resultados porcentaje de productores según número de variedades que poseen en sus cultivos .....	42
<b>Tabla 14-4</b> Determinación de porcentaje de residuos tuxeado (tongos) .....	42
<b>Tabla 15-4</b> Determinación de porcentaje de residuos etapa de desfibrado .....	43
<b>Tabla 16-4</b> Determinación de porcentaje de residuos de proceso global .....	44
<b>Tabla 17-4</b> Parámetros empleados para realizar muestreo.....	45
<b>Tabla 18-4</b> Pesos registrados en el secado de muestras 5 días de almacenamiento al ambiente.	47
<b>Tabla 19-4</b> Pesos registrados en el secado de muestras 30 días de almacenamiento al ambiente.....	47
<b>Tabla 20-4</b> Datos de la muestra 5 días de almacenamiento .....	51
<b>Tabla 21-4</b> Muestra de 30 días de almacenamiento .....	51
<b>Tabla 22-4</b> Porcentaje de grasa obtenido .....	52
<b>Tabla 23-4</b> Porcentaje de celulosa obtenido.....	52
<b>Tabla 24-4</b> Cantidad de celulosa extraída por cada 100 gr de muestra procesada .....	53

<b>Tabla 25-4</b> Formulaciones.....	55
<b>Tabla 26-4</b> Condiciones establecidas para el termoformado.....	56
<b>Tabla 27-4</b> Resultados tracción.....	56
<b>Tabla 28-4</b> Resultados deformación por tracción.....	57
<b>Tabla 29-4</b> Propiedades elásticas .....	58
<b>Tabla 30-4</b> Formulaciones resumen semanal .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2</b>	Abacá.....	8
<b>Figura 2-2</b>	Cosecha de Abacá .....	10
<b>Figura 3-2</b>	Bioplástico.....	11
<b>Figura 4-2</b>	Espectroscopía infrarroja.....	13
<b>Figura 5-2</b>	Extracción de fibra .....	14
<b>Figura 6-2</b>	Secado de fibra.....	14
<b>Figura 7-2</b>	Determinación de humedad.....	16
<b>Figura 8-2</b>	Determinación de fibra.....	17
<b>Figura 9-2</b>	Determinación de celulosa .....	17
<b>Figura 10-2</b>	Estructura de la celulosa.....	18
<b>Figura 11-2</b>	Ácido acético.....	18
<b>Figura 1-3</b>	Tipos de probetas .....	30
<b>Figura 2-3</b>	Dimensiones de las probetas con respecto al espesor .....	31
<b>Figura 3-3</b>	Máquina universal para ensayo de tracción .....	31

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama 1-4</b>	Proceso y generación de residuos .....	xiv
<b>Diagrama 2-4</b>	Resultados de la generación de residuos por etapas % .....	43
<b>Diagrama 3-4</b>	Resultados de la generación de residuos proceso global % .....	44
<b>Diagrama 4-4</b>	Resultados de la generación de residuos disponibles del proceso global% .....	44
<b>Diagrama 5-4</b>	Formulación del polímero biodegradable. ....	46
<b>Diagrama 6-4</b>	Preparación de la muestra .....	46
<b>Diagrama 7-4</b>	Caracterización realizada .....	48
<b>Diagrama 8-4</b>	Extracción celulosa .....	53
<b>Diagrama 9-4</b>	Secado y moldeo .....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4</b>	Resultados pregunta 1.....	36
<b>Gráfico 2-4</b>	Resultados pregunta 2.....	37
<b>Gráfico 3-4</b>	Resultados pregunta 3.....	38
<b>Gráfico 4-4</b>	Resultados pregunta 9.....	40
<b>Gráfico 5-4</b>	Resultados pregunta 10.....	41
<b>Gráfico 6-4</b>	Resultados espectroscopia de infrarrojo muestra 5 días de almacenamiento .....	48
<b>Gráfico 7-4</b>	Resultados espectroscopia infrarrojo muestra 30 días de almacenamiento .....	49
<b>Gráfico 8-4</b>	Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 6.....	58
<b>Gráfico 9-4</b>	Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 7.....	59
<b>Gráfico 10-4</b>	Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 8.....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Secado de muestra
- Anexo B** Molienda de la muestra
- Anexo C** Espectroscopia infrarrojo
- Anexo D** Formulación del material
- Anexo E** Extracción de celulosa
- Anexo F** Toma de datos
- Anexo G** Celulosa extraída
- Anexo H** Celulosa extraída
- Anexo I** Lectura de pH
- Anexo J** Filtrado al vacío
- Anexo K** Encuestas

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo obtener un polímero biodegradable a partir de desechos del desfibrado de abacá (*Musa textillis*) para evitar la contaminación producida en la Parroquia Monterrey del Cantón La Concordia. Se realizó el diagnóstico de la situación actual aplicando una encuesta en donde se determinó que existe un 27,49 % de residuos disponibles para ser empleados como materia prima en la elaboración de materiales biodegradables; Se efectuó una caracterización mediante ensayos de humedad, grasas y espectroscopia de infrarrojo los cuales detectaron la presencia de celulosa y lignina. Seguidamente se extrajo la celulosa para ser utilizada como materia prima principal en la elaboración de material biodegradable. Una vez obtenidas las formulaciones se aplicó el método casting para formación de las láminas de polímero y posterior moldeo a través de termoformado. El tratamiento que presentó mejores características en cuanto a textura, uniformidad, formación de película y apariencia visual fue el número tres correspondiente a las formulaciones seis, siete y ocho mismas que posteriormente se les efectuó pruebas de tracción, espectroscopia de infrarrojo y biodegradabilidad. Al comparar los resultados de las pruebas mecánicas con la norma ASTM D 638 para plásticos que establece que estos deben llegar a un esfuerzo máximo entre 14 a140 MPa , si bien es cierto se logró obtener un polímero biodegradable conclusión gracias a la prueba biodegradabilidad ; estos no lograron alcanzar características similares los plásticos convencionales, a pesar de ello este estudio representa un gran precedente para otras investigaciones para el aprovechamiento de residuos del desfibrado de abacá y en la industria de productos bioplásticos ya se puede mezclar con otros productos para reducir tiempos de biodegradabilidad. Finalmente se realizó la socialización del proyecto con los productores de la parroquia Monterrey del cantón La Concordia quienes acogieron favorablemente el mismo.

**Palabras claves:** <POLÍMERO BIODEGRADABLE <ABACÁ > <CELULOSA> <LIGNINA>  
<TRACCIÓN> <ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO> <BIODEGRADABILIDAD>  
<FIBRA> <DESFIBRADO>



0079-DBRA-UPT-IPEC-2022



## **ABSTRACT**

The objective of this research project was to obtain a biodegradable polymer from waste abacá shredding (*Musa textillis*) in order to avoid contamination in the Monterrey parish of La Concordia Canton. A diagnosis of the current situation was made by applying a survey in which it was determined that there is 27.49 % of waste available to be used as raw material in the production of biodegradable materials; a characterization was carried out by means of moisture, fat and infrared spectroscopy tests which detected the presence of cellulose and lignin. Cellulose was then extracted to be used as the main raw material in the production of biodegradable material. Once the formulations were obtained, the casting method was applied to form the polymer sheets and subsequent molding by thermoforming. The treatment that presented the best characteristics in terms of texture, uniformity, film formation and visual appearance was number three, corresponding to formulations six, seven and eight, which were subsequently subjected to traction, infrared spectroscopy and biodegradability tests. When comparing the results of the mechanical tests with the ASTM D 638 standard for plastics, which establishes that these should reach a maximum effort between 14 to 140 MPa, although it is true that a biodegradable polymer was obtained thanks to the biodegradability test; these did not achieve similar characteristics to conventional plastics, in spite of this, this study represents a great precedent for other investigations for the use of abaca defibering residues and in the industry of bioplastic products it can already be mixed with other products to reduce biodegradability times. Finally, the project was socialized with the producers of the Monterrey parish of La Concordia canton who favorably welcomed the project.

**Keywords:** <BIODEGRADABLE POLYMER <ABACÁ> <CELLULOSE> <LIGNIN>  
<TRACTION> <INFRARROW SPECTROSCOPY> <BIODEGRADABILITY> <FIBER>  
<DESFIBRATED>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El Abacá (*Musa Textilis*) es una planta originaria de Filipinas y Malasia, su apariencia es muy similar a la planta de banano. Alrededor del mundo la fibra de abacá se exporta para ser utilizada en la industria papelera, como aislantes de cable, como material reforzante en carrocería de automóviles, entre otros, sin embargo los residuos vegetales deben ser desechados pues no se les da ningún tipo de aprovechamiento posterior (Chang & Montero, 2015).

En Ecuador la producción de Abacá se encuentra concentrado en las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo y Pichincha. Siendo Santo Domingo de los Tsáchilas la mayor productora con un 39% de superficie planta en el Cantón La Concordia y 36% en el Cantón Santo Domingo (Chang & Montero, 2015).

Ecuador exporta alrededor del 15% de la fibra de abacá a nivel mundial, por lo que también es considerado como el segundo país productor en esta categoría. En 2018 exportó hacia Estados Unidos, Europa y Asia 7.233 toneladas del producto, por un valor de 19,5 millones de dólares (PDOT CONCORDIA). El abacá es una fibra de hoja la cual está compuesta por un 10% humedad, 63,2 % celulosa, 19,6 hemicelulosa, 0,5% pectina, 1,4 extracto aceroso, 0,2% grasa y cera, 5,1% lignina, además ésta representa alrededor del 14% de la planta, y entre un 84-85% corresponde a desechos vegetales (Salas, 2009).

El desconocimiento de las propiedades y características de toda la planta de abacá no sólo de la fibra, ha ocasionado que no se hayan explorado hasta la actualidad otras formas de aprovechamiento, ya que en su mayoría la fibra extraída a nivel nacional y local es exportada y un mínimo porcentaje utilizada en artesanías.

La elaboración de productos químicos a partir de fuentes renovables que sean competitivos y produzcan una innovación logrando cambiar la realidad del mercado es uno de los grandes retos que enfrenta el sector industrial. Actualmente los bioplásticos son de interés progresivo en el sector industrial debido a que todos los polímeros naturales fundamentados en carbono, como el almidón, lignina, celulosa son renovables y abundantes (Rosales, 2016).

Por tal motivo la finalidad del presente trabajo es realizar la síntesis de un material compuesto biodegradable para lo cual se emplearán los polímeros presentes en los desechos de abacá que actualmente no están siendo utilizados por los productores de la zona. El tipo de polímeros presentes en los desechos se deberá determinar a partir de una caracterización inicial de los mismos.

## **1.1 Planteamiento del problema**

### ***1.1.1 Situación problemática***

Los subproductos generados en la producción de polímeros sintéticos en el sector industrial cuya materia prima se trata de compuestos petroquímicos resultan un problema ambiental ya que estos contribuyen notablemente al deterioro de la calidad del medio ambiente porque a pesar de ser reciclados no son eliminados de raíz. Además, reciclar estos materiales resulta costoso para las empresas ya que hay que acopiarlos, transportarlos a un lugar adecuado y desinfectarlos para luego ser procesados (García, 2015).

Actualmente existe muy poca información sobre el aprovechamiento que se le puede dar a los desechos de la planta de abacá, ya que no se encuentran caracterizados de tal manera que de acuerdo a la composición que presenten se puedan desarrollar diferentes tipos de materiales para posteriores usos (Rocha-Hoyos et al., 2019). Los trabajos que se encuentran desarrollados están enfocados a los usos de la fibra de abacá como material reforzante en diferentes industrias y no a la transformación de los desechos en subproductos (Saleh, 2019).

Los plásticos son elementos constituidos por ciertas moléculas de átomos de carbono e hidrógeno, el 99 % de la totalidad de plásticos son producidos a partir de combustibles fósiles, mismos que con el paso del tiempo se han ido agotando paulatinamente lo cual ha provocado una presión formidable sobre las limitadas fuentes de energía no renovables (Rosales, 2016).

Si bien es cierto resulta muy difícil prescindir de los plásticos, no sólo por su utilidad en la sociedad sino también por la importancia económica que tienen para el sector industrial, sin embargo, la búsqueda de nuevas alternativas pertinentes a la producción de los mismos generará también beneficios tanto económicos como ambientales.

Todos estos inconvenientes expuestos anteriormente han provocado la búsqueda de nuevas alternativas como la producción de polímeros con características muy similares a los productos convencionales a partir de fuentes renovables como son los desechos del abacá y con la gran ventaja de ser biodegradables de tal manera que se pueda resolver esta problemática en el sector industrial y se logre atenuar el impacto ambiental que producen estos compuestos químicos.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es el aprovechamiento que se le podría dar a los desechos de la Planta de Abacá, con la finalidad de dar un valor agregado y disminuir la contaminación debido a los gases producidos?

## **1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación**

¿Cuál será la mejor alternativa para el aprovechamiento de residuos de abacá?

¿Qué tipo de análisis pueden ser empleados para la realización de la caracterización de los desechos provenientes de la planta de Abacá?

¿Cuál será la formulación idónea para obtener un material compuesto biodegradable utilizando los polímeros presentes en los desechos de Abacá?

¿Cuáles deberán ser las condiciones de proceso óptimas para la obtención del bioplástico?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas que debe tener el material obtenido para garantizar su funcionalidad?

¿Cómo puede beneficiarse la comunidad con el desarrollo de la investigación?

## **1.4 Justificación de la investigación**

Entre los objetivos y metas plasmados en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), figuran Objetivos como: #8 Crecimiento económico y Objetivo #12 sobre Consumo y Producción Sostenibles, estos se encuentran orientados a la adopción de Sistemas de Economía circular que a nivel industrial se traducen en

Sistemas Productivos Circulares que consisten en transformar el << PRODUCIR-UTILIZAR-DESECHAR>> y llegar a un <<PRODUCIR-UTILIZAR-REUTILIZAR>>, obteniendo beneficios en diferentes direcciones.

Con el aprovechamiento de los desechos generados transformándolos en productos de mayor valor y la reducción de contaminantes en el ambiente no solo se beneficiará a la comunidad local al generar recursos, sino también a la Industria que estará orientada hacia una producción más limpia enmarcada en una economía circular , que a su vez brindará a los consumidores un producto alternativo biodegradable que pueda reemplazar a los materiales plásticos comunes que perduran por más tiempo en el ambiente y generar un mayor grado de contaminación.

Por tal motivo la finalidad del presente trabajo es realizar la síntesis de un material compuesto biodegradable con los polímeros presentes en los desechos de abacá que actualmente no están siendo utilizados por los productores de la zona. El tipo de polímeros presentes en los desechos se deberá determinar a partir de una caracterización inicial de los mismos.

En la actualidad como profesionales relacionados al área industrial es importante desarrollar investigaciones que aporten a la misma, sobre todo en la disminución de la generación de residuos que afectan al medio ambiente, así como otras opciones que reemplacen materiales que tardan muchos años en descomponerse y los compuestos que desprenden ocasionan daños ambientales irreparables.

Si se desarrolla materiales que tengan características similares a los materiales plásticos, sobre todo los de un sólo uso y poder reemplazarlos significaría un gran aporte para aliviar la contaminación ambiental actual y evitar que siga creciendo aceleradamente como está ocurriendo en la actualidad.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### ***1.5.1 Objetivo general***

Obtener un polímero biodegradable a partir de desechos del desfibrado de abacá (*Musa textillis*) para evitar la contaminación producida en la parroquia Monterrey del Cantón La Concordia.

### ***1.5.2 Objetivos específicos***

- a) Efectuar el diagnóstico de la situación actual en la generación de desechos de abacá.
- b) Realizar un muestreo representativo de los desechos con la finalidad de desarrollar la caracterización de los mismos y extraer los polímeros presentes.
- c) Realizar ensayos químicos para formular el compuesto biodegradable a partir de polímeros obtenidos.
- d) Establecer los parámetros óptimos de secado y moldeo del polímero obtenido para mantener condiciones similares a polímeros convencionales.
- e) Aplicar métodos y normas para evaluar propiedades mecánicas y de biodegradabilidad del polímero obtenido.
- f) Socializar esta investigación con los productores de la zona, con la finalidad de dar a conocer los beneficios del aprovechamiento de los desechos de abacá.

## **1.6 Hipótesis**

Los polímeros presentes en los desechos provenientes del proceso de extracción de fibra de la planta de abacá permitirán obtener un material compuesto biodegradable con características similares a los polímeros plásticos convencionales.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

Un estudio sobre la Biodegradación de un Material Compuesto Obtenido con Ácido Poliláctico (PLA) Reforzado con Fibra Corta de Abacá (Musatextilis) realizado en la Escuela Politécnica Nacional obtuvo probetas que fueron elaboradas con diferentes porcentajes de fibra, este material compuesto presentó una velocidad de biodegradación más rápida que el PLA (Layedra et al., 2015).

Existen estudios que realizan el análisis de las características y parámetros que se deben tomar en consideración para la obtención de materiales compuestos biodegradables en los que se ha utilizado como matriz polimérica el ácido poliláctico, en estos se demostró que son esenciales la temperatura y presión de inyección en los casos en que se utilicen procesos de extrusión, trituración e inyección con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del producto final (Calderón Freire et al., 2019).

Debido a las propiedades resistentes de la fibra de abacá es empleado para un sin número de actividades conocidas y nuevos usos que se están explorando .Tal es el caso que debido a la situación actual del mundo frente al COVID-19 y el desenfrenado uso de mascarillas descartables ,por la contaminación que estas representan se ha visto la necesidad de que las mismas sean reemplazadas por un material más amigable con el medio ambiente, es así que “...un experimento demostró que el papel de abacá es más resistente al agua que una máscara comercial N-95 y es adecuado para filtrar partículas peligrosas. Es decir, además de contribuir a la reducción de la producción de residuos, es un producto de calidad que realmente tiene el potencial de reemplazar las máscaras desechables comunes...” (NOTICIAS, 2020).

#### 2.2 Bases teóricas

##### 2.2.1 Abacá

En Ecuador la producción de Abacá se encuentra concentrado en las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo y Pichincha. Siendo Santo Domingo de los Tsáchilas la mayor productora con un



39% de superficie planta en el Cantón La Concordia y 36% en el Cantón Santo Domingo. (Chang & Montero, 2015)



**Figura 1-2** Abacá

Fuente: Parroquia Monterrey, 2021

**a) Características de la planta**

Abacá es una planta originaria de Filipinas se produce a partir de la vaina de las hojas que rodean el tronco del abacá, esta es pariente cercano del banano. Nativa de Filipinas y distribuida en los trópicos húmedos. Cosechar abacá es laborioso ya que cada tallo debe cortarse en tiras, las cuales son raspadas para remover la pulpa (Correia et al., 2020).

**b) Cultivos**

Existen dos tipos de cultivos principales en Ecuador (Chang & Montero, 2015):

**Bungalonón:** se caracteriza por tener tallos pequeños y delgados, es de color verdoso brillante arriba y café en su base.

**Tangongón:** sus tallos tienen un diámetro y longitud mayor, su fibra posee mayor fuerza y resistencia.

Para la siembra de Abacá, el clima idóneo son zonas tropicales donde predomine la humedad y la temperatura oscile entre los 22-28 °C. (Chang & Montero, 2015)

El primer paso es preparar el terreno para lo cual se puede emplear abono orgánico, luego se miden y señalan con estacas los lugares donde se colocarán las plantas, esto se conoce como balizar.

Generalmente se pueden sembrar alrededor de 816 plantas por hectáreas, pueden llegar hasta las 900, todo dependerá de la distancia a la que se siembren.

Una vez señalados los puntos se realizan los huecos y se colocan las cepas, finalmente se riegan.

Labores de limpieza, control de plaga y enfermedades: Durante el crecimiento de la planta se deben realizar de 3 a 4 coronas por año, consiste en limpiar la base del tallo. Se debe realizar también el Deshije que consiste en eliminar los tallos no productivos, el primer deshije se hace a los 6 meses, dos o tres deshijos más entre los 6 a 18 meses. A esta actividad la acompaña el Deshoje. (Chang & Montero, 2015)

También se deben realizar entre 5 a 6 deshieras hasta la primera cosecha. Se debe fertilizar el suelo por los menos cuatro veces al año aportando al suelo principalmente nitrógeno y potasio, para ello 16 onzas de Úrea al 46% y 8 onzas de Muriato de Potasio al 60%.

Se recomienda realizar control de control de plagas unas 3 veces al año.

Un dato importante el cultivo de Abacá se conoce como de tipo Perenne debido a que se dice que este no muere y que al menos aquí en la zona de Ecuador se puede aprovechar hasta alrededor 15 a 20 años, puesto que mientras se corta el tallo de una planta para obtener la fibra, otra ya está creciendo, esto se debe a que sus semillas se propagan a través de sus raíces brotando yemas vegetativas llamadas hijos, retoños o cepas, por lo que donde crece una planta a su alrededor crecen más. (Chang & Montero, 2015)

### **c) Cosecha**

La primera cosecha toma entre 18 a 24 meses. Cuando los tallos están maduros se realiza el sunke o deshoje y se corta el tallo desde la base, luego del tallo cortado se cortan tiras o tuxes de 5 a 8 cm de ancho y 2 a 4 cm de espesor, el largo depende de la planta esto se le conoce como tuxeado (Chang & Montero, 2015).



**Figura 2-2** Cosecha de Abacá

**Fuente:** Parroquia Monterrey, 2021

Las tiras se agrupan en tonguillos o tongos que son transportados en burros o con maquinaria al lugar donde se procesará para extraer la fibra.

#### **d) Usos**

Se utiliza en la producción de bolsas de té y envolturas de embutidos sus principales usos, además se considera como materia prima para elaboración de papel de seguridad y de alta calidad, producción de papel billetes, pañales, servilletas papel higiénico, filtros para maquinaria, textiles para hospitales (mandiles, gorras, guantes) y cables de conducción eléctrica, entre otros (Labeaga Viteri, 2018).

#### **2.2.2 Bioplástico**

Son aquellos que son elaborados a base de recursos renovables los cuales son tienen una procedencia natural tal es el caso de la celulosa o almidón. La elaboración de un bioplástico implica la utilización de estructuras que sean químicas y que permitan la degradación adecuada del material por las bacterias y hongos, a diferencia del polipropileno y poliestireno expandido, ya que su fabricación es a base de productos originarios del petróleo .(García, 2015)



**Figura 3-2** Bioplástico

**Fuente:** <https://ecoinventos.com/bioplastico-fabricado-con-polvo-de-madera/>

La obtención del bioplástico tiene sus fases importantes a nivel de Laboratorio: Determinación de las formulaciones, elaboración de los prototipos, Pruebas físico químicas a los prototipos obtenidos, pruebas mecánicas, verificación de la biodegradabilidad del producto final (García, 2015).

Se los puede clasificar de acuerdo a su proceso de fabricación que poder ser:

Por **Biomasa**: es decir que los polisacáridos y proteínas se pueden extraer directamente de la biomasa, para su posterior mezclado con los demás componentes esenciales para la obtención del bioplástico.

Por **síntesis química**: se los obtiene por síntesis química empleando monómeros que provienen de fuentes renovables (ácido poliláctico, poliácidos glicoles).

Por **microorganismos**: se obtienen a partir de bacterias ya sean estas nativas o modificadas genéticamente (Gálvez, 2016)

Por **mezcla de polímeros biodegradables**: se obtienen al mezclar dos o más polímeros biodegradables (Gálvez, 2016).

### ***2.2.3 Formulación de bioplásticos***

Con la finalidad de obtener el material biodegradable se deben desarrollar mezclas variando el porcentaje de los componentes , en este proceso se debe realizar un buen mezclado con la finalidad

de evitar la generación de cúmulos en el proceso de homogenización, además se debe procurar reducir las pérdidas del material mientras se realiza el mezclado y atenuar el tiempo de operación (Cardona, 2019).

Existen componentes que son esenciales para la formación del bioplástico:

**Polímero:** pueden ser polisacáridos como almidón o celulosa

**Disolvente:** agua que ayudará a disolver y mezclar el polímero.

**Plastificante:** Glicerina compuesto de naturaleza alcohol que posee tres grupos hidroxilo, es incoloro y viscoso, junto con el agua actúan como plastificantes y al añadir a la mezcla le otorgará al compuesto suavidad y uniformidad, influye en las propiedades mecánicas ya que mejora la elasticidad y baja la resistencia a la tracción (Gálvez, 2016).

**Ácido acético :** le otorgará estabilidad al material , ya que neutralizará los polímeros irregulares presentes (Holguin Cardona, 2019)

#### ***2.2.4 Obtención de bioplásticos***

##### *2.2.4.1 Caracterización de materiales poliméricos*

Identificar los materiales o sustancias a través de sus propiedades físicas, químicas y estructurales en condiciones determinadas para el efecto de estudio, para lo cual se realizan una serie de pruebas o ensayos sobre cualquier material para conocer sus propiedades o comportamiento (Skoog et al., 2008).

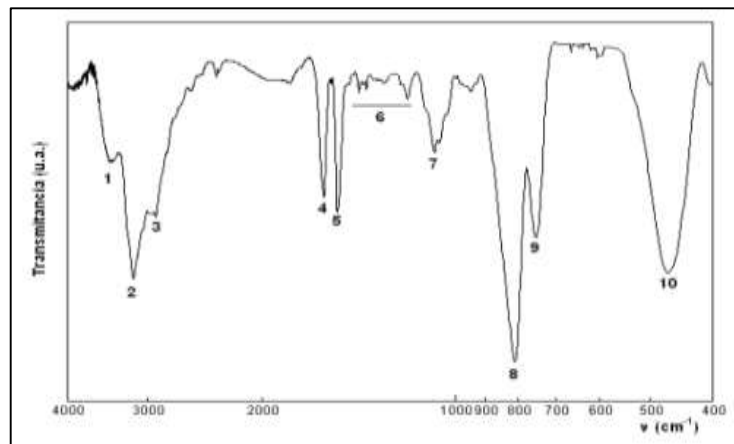
Entre las principales características (Fombuena et al., 2016), propiedades o comportamientos que se buscan:

- a) Composición química del polímero
- b) Tamaño de la molécula
- c) Topología de las macromoléculas
- d) Microestructura (isómeras, estereoquímica)
- e) Morfología de los agregados
- f) Transiciones de estructura

#### 2.2.4.2 Espectroscopia infrarroja

Es una técnica de espectroscopia molecular que permite conocer la información estructural de un compuesto, consiste en hacer incidir un haz de luz de tipo infrarrojo sobre la materia objeto de análisis y como consecuencia produce vibraciones en los átomos de la molécula. Las vibraciones producidas son específicas a determinados rangos de frecuencia de los enlaces químicos. (Velandia, 2017)

Como los rangos de frecuencia son específicos de determinados grupos funcionales, los espectros se utilizan para identificar a las moléculas.



**Figura 4-2** Espectroscopia Infrarroja

Fuente: <http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/IR.htm>

#### 2.2.4.3 Extracción de fibra

##### a) **Desfibrado**

Este proceso debe hacerse entre 8 a 12 horas después del corte. Cada lámina se coloca en una máquina desfibradora donde se extrae la fibra. Esta máquina está compuesta de un motor a diésel que genera el movimiento al rodillo y la desfibradora compuesta de un rodillo, cuchillas, sistema de embargo y apertura de cuchillas.



**Figura 5-2** Extracción de fibra

**Fuente:** Parroquia Monterrey, 2021

Se obtienen dos productos la fibra y los desechos. En Ecuador se obtienen cinco clases de calidad de fibra de Abacá.

La producción en fibra seca y limpia está alrededor de 1.1% al 2% del peso del tallo. Todo el tallo tiene un peso promedio de 50 a 70 Kilos. Basados en estos datos se calcula una producción anual por hectáreas de 1.1 a 2 toneladas métricas de fibra de abacá.

#### **b) Secado**

La fibra tiene un 10 % de humedad (Salas, 2009). El secado de la fibra se lo realiza en lo que se conoce como tendales, en donde se expone directamente al sol con la finalidad de que el exceso de humedad se evapore. Cuando ya está seca con la ayuda de prensas se coloca en pacas para su venta (Chang & Montero, 2015).



**Figura 6-2** Secado de fibra

**Fuente:** Parroquia Monterrey, 2021

#### 2.2.4.4 Matriz de soporte

Permite proteger las fibras de agentes externos, por tanto, se encarga de dar coherencia y estabilidad al compuesto. Existen de: metal, cerámica, poliméricas (Pascual Insa, 2016).

- a) **Matrices metálicas:** están formadas de metales o aleaciones reforzados con fibras, entre sus características se encuentran que por su estructura son resistentes a altas temperaturas (Pascual Insa, 2016).
- b) **Matrices cerámicas:** se caracterizan por ser estables a altas temperaturas, sin embargo tienen poca resistencia a los impactos (Pascual Insa, 2016).
- c) **Matrices poliméricas:** poseen una alta tolerancia a temperaturas bajas o moderadas. Se emplean por buenas propiedades como estabilidad y resistencia (Pascual Insa, 2016).

#### 2.2.4.5 Polímeros biodegradables

Se puede realizar su clasificación de la siguiente manera (Pascual Insa, 2016).

- a) Si son extraídos directamente de una fuente de biomasa: almidón y celulosa(polisacáridos), caseína, queratina y colágeno(proteína)
- b) Si se producen mediante síntesis química a partir de monómeros biológicos de fuentes renovables.
- c) Si se producen a partir de microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente: PHAs, ácido poliláctico (PLA).

#### 2.2.4.6 Tipos de moldeo para obtener matrices

Para la obtención de materiales compuestos con matrices poliméricas se pueden realizar ya sea a través de un moldeo abierto o cerrado (Pascual Insa, 2016).

- a) **Moldeo abierto:** puede ser por Bobinado, Proceso en autoclave o Colocación manual
- b) **Moldeo cerrado:** SMC (Sheet moulding compounds), Inyección, Pultrusión o RTM (Resin transfer moulding).



### *2.2.5.7 Reticulación química*

La reticulación es un proceso donde las largas cadenas que forman los polímeros se unen entre sí mediante enlaces covalentes, aumentando así la masa molecular del polímero como resultado de esta unión. En esta reacción los polímeros se unen en cadenas tridimensionales componiendo una especie de red que vuelve más estable al material. Luego de esta reacción, las propiedades químicas del polímero inicial se modifican (Herranz & Proyecto, n.d.).

### *2.2.5 Determinación humedad*

Los métodos habituales para determinar la humedad por lo general son retardados, invasivos y la mano de obra que necesitan es intensa. El método más tradicional para determinar el contenido de humedad de una muestra es analíticamente mediante la pérdida peso a través del proceso de secado en una estufa o mufla, en el cual el contenido de humedad es determinado a partir del cambio de peso de la muestra analizada después de la evaporación del agua contenida por la muestra en la estufa (Tirado et al., 2015).



**Figura 7-2** Determinación de humedad

Fuente ESPOCH, 2021

### *2.2.6 Determinación de fibras*

La determinación de fibras es llevada a cabo a través de hidrólisis ácida con 1,25 % de ácido sulfúrico para extraer azúcares y almidón, posteriormente se emplea una hidrólisis alcalina con 1,25% de hidróxido de sodio, el mismo elimina las proteínas y una parte de la de hemicelulosa y

lignina contenida. Por lo general la fibra cruda se suele utilizar comúnmente para analizar la calidad de los alimentos cuyo origen es vegetal partiendo de la premisa de que constituye su parte menos digerible (Möller, 2014).

En promedio el 80% de la hemicelulosa y 90% de la lignina es extraída con el ácido y con la extracción secuencial alcalina, en tanto que la recuperación de celulosa está entre un 50 a 80%. En el caso de las plantas y los cereales, el error es menor, debido al contenido relativamente más bajo de la hemicelulosa y la lignina. Sin embargo, puede resultar importante (Möller, 2014).



**Figura 8-2** Determinación de fibra

Fuente: <https://net-interlab.es/analisis-de-fibra-en-alimentos/>

### ***2.2.7 Determinación de celulosa***

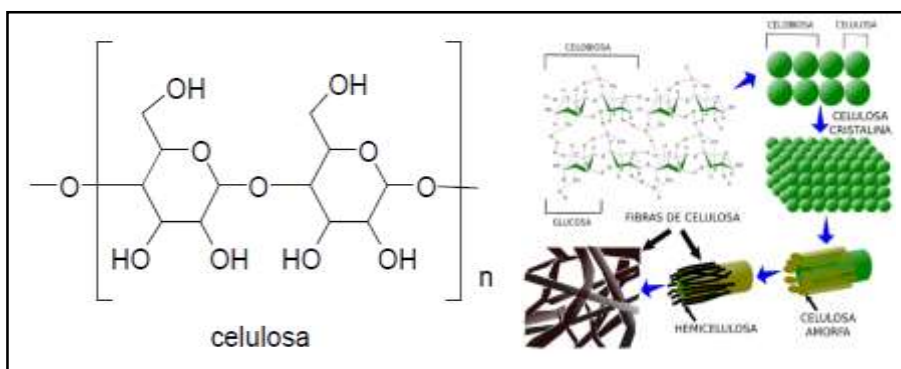
La determinación de celulosa implica la utilización de ácido acético el cual acidifica el medio y se transforma en dióxido sódico el cual permite degradar la lignina solubilizándola y clarificando la muestra. La norma empleada en este método es la ASTM D-1104 (Romero et al., 2014).



**Figura 9-2** Determinación de celulosa

Fuente: Laboratorios ESPOCH, 2021

La celulosa es considerada un biopolímero compuesto de moléculas  $\beta$ -glucosa (desde cientos hasta varios miles de unidades), es un homopolisacárido.



**Figura 10-2** Estructura de la celulosa

Fuente: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

### 2.2.8 Ácido acético

Se trata de un líquido incoloro con olor fuerte similar al vinagre el cual es uno de sus ingredientes principales. Es uno de los ácidos carboxílicos más empleados en la industria química, por lo general su uso más habitual es como solvente y en la elaboración de pinturas, papel, adhesivos, etc. Actualmente este ácido se lo puede obtener de forma biológica a través de una fermentación bacteriana o de forma sintética. Las vías de obtención de ácido acético más importante son la oxidación de hidrocarburos en fase líquida, oxidación de acetaldehído y carbonilación de metanol (Sánchez, 2016).



**Figura 11-2** Ácido acético

Fuente <https://es.renylab.ind.br/produto/acido-acetico/>

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo exploratorio y descriptivo, lo que significa que el investigador tendrá control sobre las variables, a través de la manipulación de las variables se buscará simular las condiciones apropiadas para lograr la síntesis de un material compuesto biodegradable.

Al manipular las variables se podrán obtener diferentes muestras de materiales, de las cuales se podrán explicar su comportamiento o características de acuerdo a la variable que haya sido manipulada.

Descriptivo debido a que se deberán analizar y describir cada una de las variables que intervendrán en el proceso, y se partirá de la línea base levantada a través del diagnóstico de la situación actual.

El diseño experimental empleado para esta investigación también es considerado comparativo debido a que se realizó la comparación entre los tratamientos efectuados, con la finalidad de conocer cuáles fueron los mejores resultados.

#### 3.2 Métodos de investigación

Se considera la presente investigación como deductivo, ya que realizará un análisis de los conceptos ya conocidos para llegar a la conclusión si se ha obtenido o no un material compuesto biodegradable con las características deseadas.

También se podría considerar sistemático ya que se relacionarán las características del material como influyen entre sí para llegar a verificar si se ha obtenido o no un material compuesto biodegradable.

### **3.3 Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo debido a que las variables involucradas en el proyecto son medibles, es decir darán como resultado valores numéricos cuantificables, esto se logrará a través de la experimentación.

### **3.4 Alcance de la investigación**

La presente investigación está proyectada a la obtención de un polímero biodegradable que tenga características similares a los convencionales, pero con la diferencia de que no contamina, evitando contaminar al ambiente y dando un valor agregado a los desechos.

### **3.5 Metodología**

#### ***3.5.1 Diagnóstico de la situación actual***

La planta de Abacá (*Musa Textillis*) que se cultiva en la parroquia Monterrey es destinada principalmente para extraer su fibra y venderla para su posterior exportación, sin embargo, no se da ningún tratamiento ni uso posterior a los residuos generados en cada etapa del proceso de desfibrado.

Para efectuar el diagnóstico de la situación actual referente a esta industria se realizaron visitas a diferentes plantaciones de Abacá ubicadas en la parroquia Monterrey, para conocer de cerca el proceso de extracción de la fibra en todas sus fases, además a través de la observación se determinaron cuáles son las etapas del proceso que generan residuos, que destino se les dá y mediante pesaje se establecieron los porcentajes generados.

##### ***3.5.1.1 Etapa de observación***

Las etapas identificadas del proceso fueron:

### **SUNKE O DESHOJE**

Se observó que previo a la cosecha se realiza la limpieza del área a trabajar. La primera etapa realizada es el sunke o deshoje que consistió en sacar y separar todas las hojas del pseudotallo para facilitar el corte del mismo. Aquí se generaron los primeros residuos que se dejaron en el lugar para su descomposición y aporte de nutrientes al suelo.

### **RUMA**

Los tallos se agruparon en cantidades de 3 o 4 dependiendo el tamaño, esta etapa se le conoce como conformar una “Ruma”, no existió generación de residuos.

### **TUXEADO**

La “Ruma” pasó a la etapa de “Tuxeado” que consistió en cortar el tallo en tiras, esto se realizó en cada una de las capas que lo conforman; los tuxes o tiras se amontonaron y amarraron para formar el tongo o tonguillo que luego fue transportado en burro hasta la máquina desfibradora.

Los residuos provenientes del tuxeado se dejaron en el lugar con la finalidad de que sirvan de abono a la misma plantación.

### **DEFIBRADO**

Una vez listos los tonguillos el maquinista procesó los tonguillos tomando cantidades pequeñas de tiras o tuxes en pequeños grupos y se los hizo pasar por la máquina, la misma está compuesta por un motor a diésel que genera el movimiento del rodillo y la desfibradora como tal que está compuesta por el rodillo, cuchillas y un sistema de apertura y cierre de las cuchillas.

Los residuos generados se fueron amontonando en el mismo lugar.

Finalmente, a través de la observación se pudo establecer el diagrama de flujo del proceso.

#### ***3.5.1.2 Encuesta aplicada***

Para establecer el destino que se les dá a los residuos de abacá se realizó la aplicación de una encuesta a los productores de la zona con la finalidad de obtener los datos sobre el destino de los

residuos. Para ello primero se determinó el tamaño de muestra para la aplicación de la encuesta. De acuerdo a entrevistas personales con las asociaciones se determinó el valor total de la población la cual es de 350 productores aproximadamente (ver modelo de encuesta anexos).

Tamaño de muestra:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2(N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

*n = tamaño de la muestra poblacional* *N = tamaño de la población total*

*N = tamaño de la población total*

*σ = desviación estandar de la población (0,5)*

*Z = nivel de confianza ; 99% el valor más alto (2.58) – 95% valor mínimo (1.96)*

*e = error muestral; 1% (0.01) al 9% (0.09)*

Se aplicó la encuesta a la muestra calculada (ver anexos modelo de encuesta).

Las preguntas aplicadas fueron las siguientes:

Pregunta 1: Para determinar el destino de los residuos generados en la etapa del SUNKE se realizó la siguiente pregunta:

**¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Sunke?**

Pregunta 2: Para determinar el destino de los residuos generados en la etapa del TUXEADO se realizó la siguiente pregunta:

**¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Tuxe?**

Pregunta 3: Para determinar el destino de los residuos generados en la etapa del DESFIBRADO se realizó la siguiente pregunta:

**¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de extracción de la fibra?**

También se consultó mediante la encuesta a los productores la posibilidad de donación o venta de los residuos, a través de las siguientes preguntas:

**Pregunta 9 Si existiera la posibilidad de convertir los residuos resultantes de la obtención de la fibra en un producto terminado, estaría usted dispuesto/a: Donar o vender los residuos.**

**Pregunta 10 En cualquiera de los dos casos anteriores los residuos de que etapa estaría dispuesto/a a donar o vender: Sunke, Tuxe o Extracción de la fibra.**

Las preguntas 4,5,6 y 7 fueron de carácter cuantitativo. Se realizó el procesamiento de datos mediante la herramienta computacional Excel, donde se determinaron los resultados en porcentajes.

### *3.5.1.3 Etapa de determinación de cantidad de residuos*

Para la determinación de las cantidades de residuo generados se escogieron de manera aleatoria 4 plantaciones ubicadas en la parroquia, esto con base en qué, de acuerdo a los resultados de la encuesta en cuanto a variedades de planta de abacá que existen en la zona un 90% de los productores tienen diferentes variedades en sus plantaciones, por tal razón se puede definir que la muestra de interés será de similares características en todas las plantaciones de la zona ya que los residuos son una mezcla de todas las variedades existentes, estas son Bungalón, Tangongón, Tango negro, Tango rojo, Meristemático .

En la elaboración de los Tonguillos que son el producto de la etapa de tuxeado se generaron una gran cantidad de residuos provenientes del tallo, los cuales de acuerdo a lo que se determinó en su gran mayoría se dejan en el lugar para que descompongan. Se realizó el pesaje de diferentes tallos previo al tuxeado y posterior al mismo con ello se pudo determinar los pesos perdidos y los porcentajes de residuo generados.

En la etapa del desfibrado también se realizó el pesaje de los tonguillos previo a pasar por la máquina y una vez obtenida la fibra el peso final, con la finalidad de determinar el porcentaje de residuos generados en esta etapa.

Adicional a ello se determinaron los porcentajes de residuos totales generados en todo el proceso con la finalidad de establecer la disponibilidad de materia prima para la elaboración del polímero biodegradable. Se denominó % Residuos disponibles a aquellos resultantes del ingreso de los tongs a la etapa de desfibrado. Puesto que el 96,15% de los productores estaría dispuesto a vender solo los residuos de esta etapa se deberán considerar como los disponibles para materia prima en la producción de material biodegradable.



Con los residuos disponibles del proceso global, se realizó el análisis químico para determinar el tipo y porcentaje de compuestos presentes.

### ***3.5.2 Muestreo***

Se realizó un muestreo aleatorio por conglomerados mismo ya que se puede considerar que la población existente es grande y dispersa, que de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial 2030 del Cantón La Concordia existen 2.405 has con cultivos de abacá sin embargo no existe un dato preciso de cuentas hectáreas se encuentran en la parroquia Monterrey, pero si se conoce que es el lugar con mayor concentración de cultivos.

Debido a que los resultados de la encuesta realizada reflejan las variedades que están presentes en la mayoría de cultivos son Bungalonón, Tangongón, Tango negro, Tango rojo, Meristemático; si bien es cierto podrían considerarse como unidades de análisis diferentes estos son homogéneos entre sí, por lo que opción escogida es acertada.

La muestra se diferenció únicamente por tiempo de almacenamiento que tenían los residuos, unas corresponden a un tiempo de 5 días y otras a 30 días, las muestras se tomaron de diferentes plantaciones ubicadas en la parroquia.

### ***3.5.3 Formulación del polímero biodegradable***

Los bioplásticos se pueden clasificar de acuerdo a su proceso de fabricación, en el presente proyecto se realizó a través del que se conoce **Por BIOMASA** en donde los polímeros que pueden ser polisacáridos como el almidón o celulosa y las proteínas como caseína, queratina y colágeno son extraídos directamente de la biomasa. Por tal motivo en la presente investigación se procedió luego del muestreo, a realizar la preparación, caracterización, extracción y finalmente encontrar la formulación ideal.

Se recolectaron muestras de 4 plantaciones las cuales tienen las mismas variedades de planta de abacá.

Una vez realizado el muestreo se procedió al tratamiento de la muestra para iniciar con los respectivos ensayos de laboratorio.

### *3.5.3.1 Preparación de la muestra*

La muestra recolectada se colocó en bandejas y se procedió a realizar el pesaje de las mismas este constará como P1 en la tabla 4.4, se colocaron en la estufa a una temperatura de 105°C por un periodo de tres días, una vez transcurrido el periodo indicado se sacó las muestras , se colocaron en el desecador para enfriar y se pesó, se tomó dos pesajes más con un intervalo de 60 minutos y una vez se constató que los pesos se mantuvieron constantes, se colocaron las muestras en el desecador y se dejó enfriar.

La muestra seca se colocó en un molino sin fin para reducir su tamaño ya que por las características que presenta no se pudo colocar directamente en el equipo de molienda y tamizado. El resultado del procedimiento anterior se llevó al equipo de Molienda y Tamizado donde se obtuvo la muestra fina que se utilizó posteriormente para la caracterización y formulación.

### *3.5.3.2 Caracterización de la muestra*

A la muestra extraída se realizaron los siguientes análisis:

#### **Espectroscopia de infrarrojo:**

Se pesó aproximadamente 1 gramo de la muestra seca, se hizo pasar por un tamiz malla 60 y se colocó en el espectrofotómetro de Infrarrojo, se realizó el barrido y la lectura de resultados para la interpretación de los resultados. (Anexo A y Resultados) Este procedimiento se realizó tanto a la muestra de 5 días de almacenamiento como a la de 30 días, con la finalidad de determinar si el tiempo de almacenamiento previo a la preparación y formulación influye en la composición de la muestra. Con este procedimiento se detectó la presencia de celulosa en la muestra.

#### **Determinación del porcentaje de humedad:**

Se procedió a pesar la muestra fresca y colocar en bandejas, se colocó en la estufa a 105°C por aproximadamente tres días. Culminado el tiempo estimado proceder a realizar 3 pesajes con intervalos de 60 minutos cada lectura, para ello se debió colocar en el desecador con la finalidad de que la muestra se enfríe y no absorbiera la humedad del ambiente, si el peso se mantiene constante finalizar el secado.(Eva & Isabel, 2012)

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

$$\%Humedad = \frac{(P_{cápsula + muestra}) - (P_{cápsula + muestra seca})}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

### **Determinación de grasa:**

Para determinar el porcentaje de grasa presente en la muestra se realizó por el Método Soxhlet, se pesaron los dos matraces limpios y secos, se pesaron las muestras a analizar 3 gramos de cada muestra y se colocó en el equipo de extracción, se añadió el éter en volumen 2/3 del volumen total.

Se calentó hasta llegar a la ebullición, y controló la temperatura realizando 10 reflujos por hora. Luego, se evaporó el éter por destilación manteniendo la temperatura entre los 40- 60 °C, y se llevó el matraz al horno para eliminar rastros de éter a una temperatura de 105°C. Se enfriaron los matraces en el desecador y se pesaron.

Para la determinación se empleó la siguiente fórmula:

$$\%Grasa = 100 \times \frac{(P_{mg} - P_{ml})}{P_{muestra}}$$

$P_{mg}$  = *Peso del matraz con el contenido de grasa (g)*

$P_{ml}$  = *Peso del matraz limpio y seco (g)*

$P_{muestra}$  = *Peso de la muestra (g)*

### **Determinación de porcentaje de celulosa:**

Se pesaron 20 gramos de muestra seca, se le añadieron 200 ml de Hidróxido de sodio al 10% y sometieron a calentamiento a 65°C, una vez se observó la aparición de la primera burbuja se siguió calentando por 10 minutos más y se procedió a apagar, se dejó reposar por 20 minutos para su enfriamiento y se filtró con ayuda de un embudo büchner y una bomba de vacío.

La muestra tratada se lavó por repetidas ocasiones hasta llegar a un pH cercano a 7, luego al residuo obtenido se añadieron 200 ml de Hipoclorito de sodio al 1% y dejó actuar por 20 minutos,

nuevamente con la ayuda del equipo al vacío se procedió a lavar varias veces hasta llegar a un pH 7, además retirar el exceso de humedad para la siguiente etapa.

El residuo obtenido se colocó en una caja Petri previamente pesada y se llevó a la estufa a 60°C por un periodo de 14 horas. Una vez totalmente seca la muestra colocar en un desecador para enfriar y pesar.

Se empleó la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje de celulosa presente:

$$\%Celulosa = \frac{P_{ce}}{P_{mi}} \times 100$$

$P_{ce}$  = *Peso celulosa extraída*

$P_{mi}$  = *Peso muestra inicial*

### 3.5.3.3 Extracción de celulosa para la formulación

El principal polímero de interés encontrado mediante la espectroscopia de infrarrojo es la celulosa, por lo tanto se sometió a la muestra a un proceso de tratamiento químico alcalino para la extracción de su celulosa para que la misma sea empleada como componente principal en la formulación del polímero biodegradable.

El tratamiento químico alcalino consistió en añadir una solución de NaOH para lavar los residuos que contienen compuestos celulósicos esto sucede a una concentración, tiempo y temperatura determinados. Este tratamiento fue empleado con la finalidad de eliminar la lignina y hemicelulosa presente, además la acción de la solución hace que se rompan las redes de enlaces de hidrógeno lo que permite que los grupos hidroxilo de la muestra se vuelvan más activos y mejora la hidrofiliidad. Se dá de forma que primero se produce un hinchamiento en donde la estructura natural cristalina de la celulosa se relaja, a su vez se eliminan las demás estructuras presentes.

Para ello se pesaron 100 g de la muestra seca y se colocó en un vaso de precipitación, se añadieron 1000 ml de una solución de Hidróxido de sodio al 10% y sometió a calentamiento con agitación constante, se mantuvo a una temperatura de 65°C. Al observar la aparición de la primera burbuja

se dejó calentar por 10 minutos y luego se apagó, se dejó enfriar por 20 minutos y se enjuagó con agua caliente por repetidas ocasiones para bajar el pH.

Luego se realizó un tratamiento con Hipoclorito de sodio al 1% y se dejó actuar por 20 minutos y enjuagar varias veces hasta llegar un pH 7. Se filtró la muestra y se llevó a la estufa hasta eliminar la humedad.

Como resultado se obtuvo la celulosa completamente seca, se realizó posteriormente la molienda para separar y reducir el tamaño para obtener una especie de polvo. El tamizado se realizó solo a una parte de la muestra, pues será una de las variaciones en la formulación.

#### 3.5.3.4 Formulación

Se denomina como polímero biodegradable a aquel polímero que una vez ha desempeñado la función para la cual fue fabricado comienza su proceso de descomposición y da como resultado subproductos de origen natural como gases de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, agua, biomasa, entre otros.

Para la formulación del polímero biodegradable se emplearon componentes como la glicerina que cumplió la función de plastificante, ácido acético, agua, celulosa, y presencia/ausencia/mezcla de almidón.

Las cantidades de los compuestos y las variaciones se registraron en tablas con el formato que se muestra a continuación:

**Tabla 1-3** Formato para la formulación

Tratamiento	Formulación N°	Agua (ml)	Glicerina(ml)	Ácido Acético (ml)	Celulosa (g)	Almidón (g)

Elaborado por: Dávalos, J; 2021

La formulación del material se realizó a través de un diseño experimental donde se probaron diferentes tratamientos, variando las cantidades de los componentes a emplear.

Los tratamientos propuestos fueron los siguientes:

- Tratamiento 1:** Ausencia o presencia de almidón
- Tratamiento 2:** Variación de ácido acético, glicerina
- Tratamiento 3:** Tratamiento 2 + variación de cantidad de almidón
- Tratamiento 4:** Tratamiento 2 + ausencia de celulosa
- Tratamiento 5:** Tratamiento 4 + variación de agua y almidón
- Tratamiento 6:** Tratamiento 5 con presencia de celulosa
- Tratamiento 7:** Tratamiento 6 con ausencia de almidón
- Tratamiento 8:** Tratamiento 6 + variación de celulosa

Una vez que se evidenció que el Tratamiento 3 presentaba mejores resultados en cuanto a textura, apariencia y que no se rompía al estirarlo se procedió a realizar el tratamiento 9, que consistió en repetir dicho tratamiento para obtener mayor cantidad del polímero.

**Tratamiento 9:** Tratamiento 3 (triplicado el volumen)

El procedimiento general de los tratamientos se llevó a cabo de la siguiente manera: en un vaso de precipitación se agregó el agua según la cantidad requerida, en caso de que el tratamiento requiera agregar almidón se pesó a parte el componente y luego se incorporó al agua con la finalidad de disolverlo, se les agregó el ácido acético y la glicerina de acuerdo a las proporciones establecidas, finalmente se añadió la muestra previamente pesada de la celulosa. Se sometió a calentamiento con agitación hasta obtener una especie de pasta con la que se formará la película. Las condiciones a las que se manejó el experimento: Temperatura en un rango entre los 50 °C y 68°C.

#### ***3.5.4 Secado y moldeo***

Una vez obtenida la mezcla resultante se colocó en placas para que concluya la reacción de polimerización, además esperar a que la mezcla endurezca formando la película que tomó la forma del molde (placa) a esto se le conoce como el método casting.

Las formulaciones obtenidas colocadas en las placas se llevaron a la estufa a una temperatura de 50°C por 4 horas y luego se dejaron secar a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.

Transcurrido el tiempo indicado se desprendieron las láminas obtenidas de las placas, de acuerdo a las características que presentaron se consideró que la mejor opción de moldeo a emplear en ellas es el termoformado.

Para el termoformado se calentaron los moldes de aluminio para flexibilizar el polímero obtenido, luego se aplicó presión para prensar el material con el molde y se dejó enfriar para posteriormente retirar el molde. Este método está recomendado para materiales termoestables.

### 3.5.5 Evaluación de propiedades mecánicas y biodegradabilidad del polímero

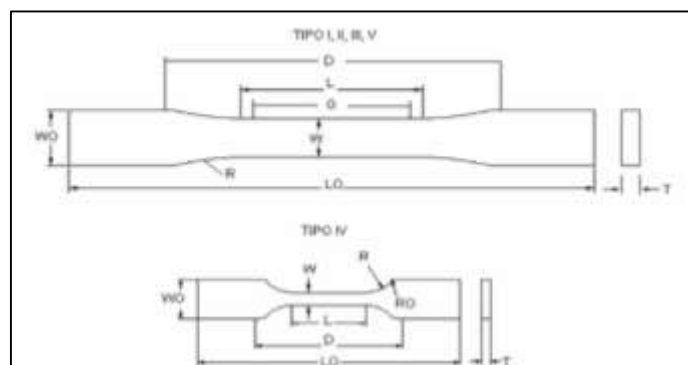
Para la realización de los ensayos se obtendrán películas de polímero biodegradable por el método casting también conocido como vaciado en placa. (Rutiaga)

Para la obtención de las películas se vierte el polímero biodegradable en la placa, donde se deja para su reacción, curado o endurecimiento acogiéndose la forma del molde y formando así la película (Alemán et al., 2018). Se realizarán las siguientes pruebas:

#### 3.5.5.1 Tracción

La probeta normalizada es expuesta a un esfuerzo axial hasta lograr producir la rotura de la misma ya que consiste en someter la probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción ascendente en la misma dirección que el eje longitudinal de la misma hasta que dé la ruptura (València, 2017), se trabajó bajo la norma ASTM D638 específica para pruebas de tracción de plásticos, para lo cual se empleó una Máquina de prueba universal con rango de operación entre 5kN -10 kN: velocidad de tracción entre 1 a 500 mm/min hasta que la muestra se rompa.

De acuerdo a la norma ASTM D638 existen cinco tipos de probetas, que son I, II, III, IV y V estas se pueden elaborar en materiales rígidos y semirígidos, para materiales no rígidos se pueden emplear los tipos III y IV.



**Figura 1-3** Tipos de probetas

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/11113/621815G166dm.pdf;jsessionid=633CDF2F9A977B0549F44C289D5BD353?sequence=1>

Dimensiones	≤ 7(0.28)		7 a 14 (0.28-0.55)	≤ 4(0.16)		Tolerancias
	Tipo I	Tipo II	Incl. Tipo III	Tipo IV <sup>a</sup>	Tipo V <sup>b</sup>	
W- Ancho de la sección estrecha <sup>a</sup>	13(0.50)	6(0.25)	19(0.75)	6(0.25)	3.18(0.125)	±0.8(±0.02) <sup>a</sup>
L- Longitud de sección estrecha	57(2.25)	57(2.25)	57(2.25)	33(1.30)	9.53(0.375)	±0.8(±0.02) <sup>a</sup>
WO- Ancho, min <sup>f</sup>	19(0.75)	19(0.75)	29(1.13)	19(0.75)	9.53(0.375)	±0.6(±0.2) <sup>a</sup>
LO- Largo, min <sup>f</sup>	165(6.5)	183(7.2)	246(9.7)	115(4.5)	63.5(2.5)	No máx.
G- Longitud galga <sup>a</sup>	50(2.00)	50(2.00)	50(2.00)	XXX	7.62(0.300)	±0.25(±0.01) <sup>a</sup>
G- Longitud galga <sup>a</sup>	XXX	XXX	XXX	25(1.00)	XXX	±0.13(±0.005)
G- Longitud galga <sup>a</sup>	115(4.5)	135(5.3)	115(4.5)	65(2.5)	25.4(1.00)	
D- Distancia entre mordazas	76(3.00)	76(3.00)	76(3.00)	14(0.56)	12.7(0.5)	±5(=0.2)
R- Radio del filete	XXX	XXX	XXX	25(1.00)	XXX	±1(=0.04) <sup>c</sup>
RO- Radio exterior(Tipo IV)						+1(=0.04)

**Figura 2-3** Dimensiones de las probetas con respecto al espesor

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1113/621815G166dm.pdf;jsessionid=633CDF2F9A977B0549F44C289D5BD353?sequence=1>

Para nuestros ensayos se trabajó con las dimensiones de las probetas tipo IV ya que corresponde a espesor menores o iguales a 4 mm.



**Figura 3-3** Máquina universal para ensayo de tracción

Fuente: Plasencia, Jhonny 2021

Se aplicó el procedimiento descrito en la metodología empleando las probetas de acuerdo a lo que indica la norma.

Las propiedades a determinar con el ensayo de tracción son Resistencia a la tracción la cual se define como Cantidad de fuerza que se puede aplicar antes de que se rompa el material. Los plásticos comerciales sin plastificar ni llevar fibras muestran desde 14 hasta 140 MPa (2 a 20 psi) dentro de ella se encuentran el Esfuerzo máximo y la Deformación por tracción, como propiedades elásticas encontramos el Módulo de elasticidad.



### *Esfuerzo máximo ( $\sigma$ )*

Es el máximo esfuerzo que un material puede sufrir, nos ayudará a saber cuánta resistencia a la tracción presenta.

### *Resistencia a la tracción*

Cantidad de fuerza que se puede aplicar antes de que se rompa el material. Los plásticos comerciales sin plastificar ni llevar fibras muestran desde 14 hasta 140 MPa (2 a 20 psi).

### *Deformación por tracción*

Se puede considerar como la medida del cambio entre la dimensión final e inicial del material. Se puede representar en unidades de longitud, también de área o volumen. También se puede expresar en porcentaje.

### *Módulo de elasticidad*

Cuando un material se expone a la acción de fuerzas exteriores tiende a experimentar deformaciones que pueden ser reversibles, es decir una vez que estas fuerzas han desaparecido estos regresan a su forma original, a ello se lo conoce como la propiedad de elasticidad.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$E =$  *Módulo de elasticidad*

$\sigma =$  *Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)*

$\varepsilon =$  *Deformación del material*

#### *3.5.5.2 Espectroscopia de infrarrojo*

Por medio de esta prueba se podrán identificar bandas características para cada grupo funcional, se puede enfatizar en el índice de carbonilo grupos cetona y éster, y el índice de vinilo como prueba para indicar la oxidación (Arias, 2018).

Este procedimiento se realizó a las Formulaciones 6,7 y 8 del Tratamiento 3 que presentaron las mejores características para el estudio.

De cada uno se tomó una pequeña sección y se procedió a analizar en el equipo, para su posterior interpretación.

#### *3.5.5.3 Biodegradabilidad*

Se define como Biodegradable aquel material en cuyo proceso de degradación intervienen microorganismos los cuales fraccionan sus componentes moleculares en moléculas más pequeñas, y provocan el deterioro del material devolviendo el carbón contenido en el material a la biosfera (Arias, 2018).

#### **Observación de cambios/tiempo**

Consistió en observar los cambios que se presentaron en la superficie del material a consecuencia de la degradación. Se enfatizó en detectar cambios como presencia de agujeros y grietas, fragmentación, coloración, entre otros .(Arias, 2018).

Se observó la formación de una película texturizada puesto que la muestra de celulosa que se empleó en las formulaciones 6,7 y 8 no fue tamizada para fines investigativos, y se comprobó que presentó mejores resultados que los tratamientos con muestra tamizada, esto se puede deber a que, al tener una muestra con partículas de mayor tamaño permite tener una película más reforzada.

Se cortaron muestras 3 cm x3 cm y se colocaron bajo una capa de tierra y se realizó la inspección cada 8 días por 5 semanas y se evidenció el deterioro de la película.

#### *3.5.6 Socialización de la investigación*

Una vez obtenidos las mejores muestras obtenidos, se coordinó con el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Monterrey y se socializó el proyecto con los productores de la zona, donde se dio a conocer todos los por menores del proyecto realizado.

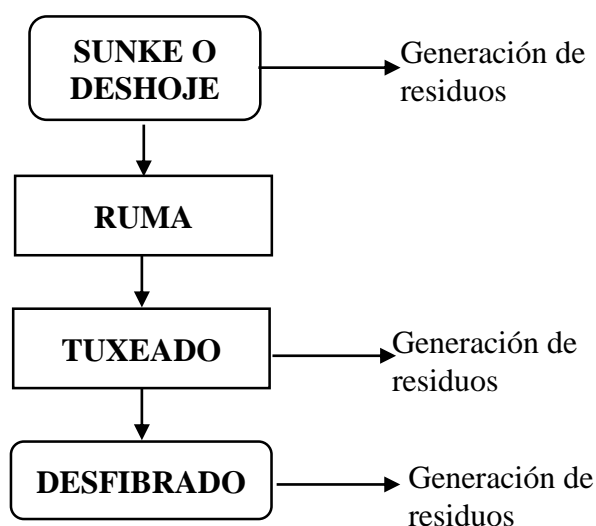
## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Diagnóstico de la situación actual

##### 4.1.1 Etapa de observación

Del recorrido efectuado se pudo establecer las etapas del proceso y detectar en cuales se realiza la generación de residuos:



**Diagrama 1-4** Proceso y generación de residuos

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Discusión:** las etapas del proceso determinadas en la observación coinciden con la descripción realizada por Torres (2021) en su trabajo realizado sobre la Producción y Exportación del abacá en el Ecuador, donde se describen estas mismas etapas en el proceso de extracción de la fibra de abacá también llamado desfibrado, aunque en dicho estudio se mencionan otras etapas como secado de la fibra, clasificación, prensado y empaque, las de interés para el presente estudio son las descritas en el diagrama.

#### 4.1.2 Encuesta aplicada

**Tabla 1-4** Tamaño de muestra para la aplicación de la encuesta

$Z$	1,96
$\sigma$	0,50
$N$	350
$e$	0,05
$n$	183,39

Elaborado por: Dávalos J.;2021

De la fórmula aplicada se obtuvo un valor de 183,39 por lo que la encuesta fue aplicada a un total de 184 productores.

**Tabla 2-4** Resultados pregunta 1 ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Sunke?

<b>Respuesta</b>	<b># Productores</b>
Deja en la plantación	172
Bota en un lugar apartado	0
Vende	0
Regala	0
Abono	184
Quema	0
Otro	0

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 3-4** Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 1

Productores que solo dejan en su plantación los residuos	7 %
Productores que dejan en su plantación y también emplean como abono	93%
<b>TOTAL</b>	100%

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Gráfico 1-4** Resultados pregunta 1

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 4-4** Resultados pregunta 2 ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de Tuxe?

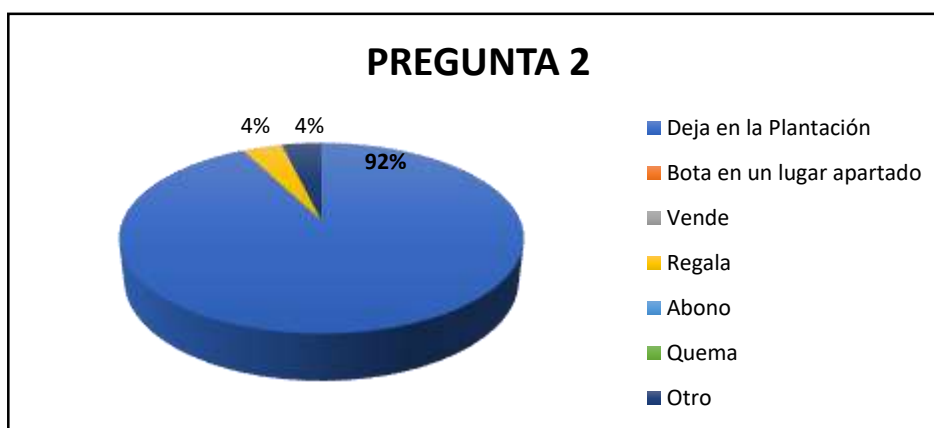
Respuesta	# Productores
Deja en la plantación	170
Bota en un lugar apartado	0
Vende	0
Regala	7
Abono	0
Quema	0
Otro	7

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 5-4** Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en Programa Excel pregunta 2

Deja en la plantación	92%
Bota en un lugar apartado	0 %
Vende	0 %
Regala	4 %
Abono	0 %
Quema	0 %
Otro	4 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Gráfico 2-4** Resultados pregunta 2

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 6-4** Resultados pregunta 3 ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de extracción de la Fibra?

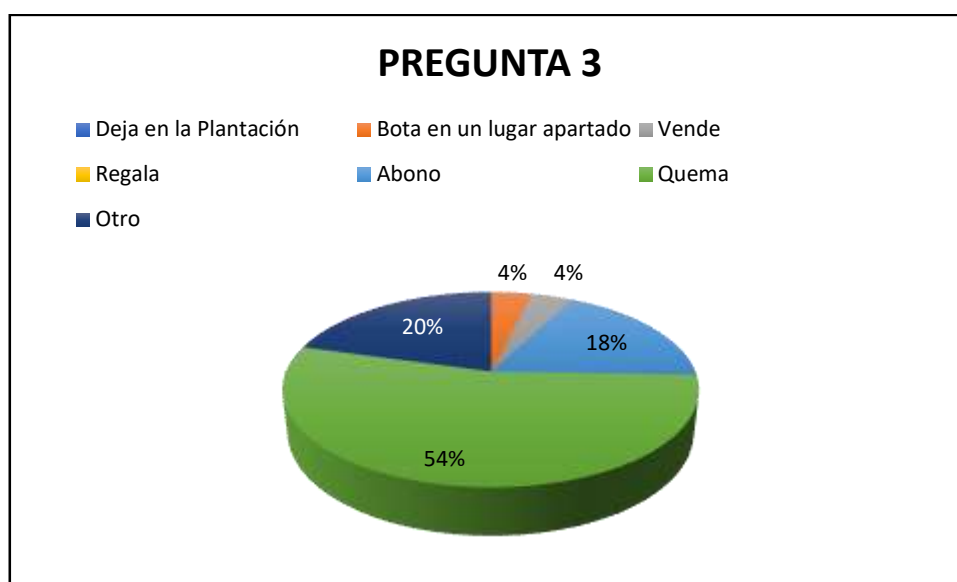
Respuesta	# Productores
Deja en la plantación	0
Bota en un lugar apartado	7
Vende	7
Regala	0
Abono	99
Quema	33
Otro	38

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 7-4** Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 3

Deja en la Plantación	<b>0%</b>
Bota en un lugar apartado	4%
Vende	4%
Regala	0%
Abono	18%
Quema	54%
Otro	21%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Gráfico 3-4** Resultados pregunta 3

Elaborado por: Dávalos J.;2021

## Discusión

De la encuesta aplicada a la población de estudio y el procesamiento de datos en Excel se determinó que alrededor de un 93% de los productores realizan dos actividades a la par con los residuos generados en la etapa de sunke que son dejar los mismos en la plantación y otra parte de los residuos es aplicada como abono en sus terrenos, alrededor de un 7% realiza una única actividad que consiste en dejar los residuos en las plantaciones.

Además de la encuesta realizada en la etapa del tuxeado un 92% de los productores deja los residuos en la plantación, un 4% lo regala, un 4% hace otra actividad como por ejemplo emplear en la elaboración de artesanías.

Finalmente, en la etapa de extracción de la fibra o desfibrado el 54% quema sus residuos una vez se haya llenado su espacio de almacenamiento y exista espacio para continuar con el mismo, mientras que un 4% lo vende, un 18% lo emplea como abono, alrededor del 21% lo designa a otras actividades entre ellas elaboración de artesanillas y tejido de esterillas, un 4% lo procede a botar en algún lugar apartado.

De las etapas donde se produce generación de residuos se puede determinar que la etapa donde es más susceptible a generarse contaminación principalmente por la actividad de quemar los residuos, por lo que será considerada como una etapa de interés para la obtención de materia prima, así como también para minimizar los daños al ambiente.

En la propuesta de Aprovechamiento de la Fibra de Plátano en la Región Ariari Departamento del Meta realizada por Cifuentes y Cifuentes (2019) se hace referencia al aprovechamiento de residuos de cultivos que al ser desperdiciados y dejados a la intemperie generan un impacto negativo en el medio ambiente, por lo que el análisis realizado en el presente trabajo representa gran importancia en el aporte a la disminución de contaminación al medio ambiente debido a estos factores. Así también es de considerar que la planta de abacá pertenece a la familia Musáceas, a la que pertenece también la planta de plátano Musa Paradisiaca (plátanos) por lo que es válida dicha comparación en cuanto a su similitud estructural y a nivel de generación de residuos se determinó un porcentaje aproximado del 85% de biomasa residual compuesta por las hojas, pseudotallo, raquis y restos de fruto ,por lo que los impactos generados por la acumulación de residuos de abacá pueden ser similares o incluso mayores.

**Resultado pregunta 9:** Si existiera la posibilidad de convertir los residuos resultantes de la obtención de la fibra en un producto terminado, estaría usted dispuesto/a: Donar o vender los residuos.

**Tabla 8-4** Resultados pregunta 9.

Donar los residuos	7
Vender los residuos	177

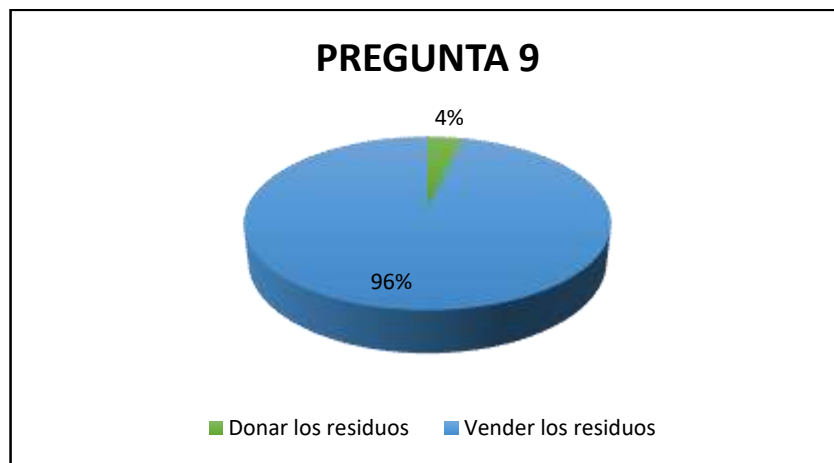
Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Tabla 9-4** Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 9

Donar los residuos	4 %
Vender los residuos	96 %
TOTAL	100 %

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Gráfico 4-4** Resultados pregunta 9

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 10-4** Resultado pregunta 10: En cualquiera de los dos casos anteriores los residuos de que etapa estaría dispuesto/a a donar o vender:

Sunke	0
Tuxe	6
Extracción de la fibra	178

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 11-4** Resultados de los porcentajes obtenidos del procesamiento de datos en programa Excel pregunta 10

Sunke	0 %
Tuxe	3 %
Extracción de fibra	97 %
TOTAL	100 %

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Gráfico 4-4** Resultados pregunta 10

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**DISCUSIÓN:** con los resultados de la encuesta también se pudo verificar que un 96 % de los productores estarían dispuestos a vender sus residuos para poder obtener beneficios económicos, apenas un 4 % estaría dispuesto a donar. A pesar de que esto sugiere que se generarían costos por adquisición de materia prima, es un gran indicador de que existirá facilidad para la adquisición de materia prima y que no existe oposición por parte de los productores de la zona.

De la población encuestada 97 % manifestó que estaría dispuesta a vender los residuos provenientes de la etapa de extracción de la fibra. No hubo interés en donar o vender los residuos de la etapa de sunke y apenas un 3% vendería de la etapa de tuxe. Por lo que los residuos generados en la etapa de desfibrado es el de principal interés para el estudio, puesto que los mismos son amontonados y se dejan descomponer para que se vayan compactando o en los casos en donde no se cuenta con espacio se procede a la quema de los mismos, generando contaminación al ambiente.

#### 4.1.3 ETAPA DE DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE RESIDUOS

**Tabla 12-4** Resultados productores según número de variedades que poseen en sus cultivos.

1 variedad	3
2 a 3 Variedades	15
4 a 5 Variedades	166

Elaborado por: Dávalos J.,2021

**Tabla 13-4** Resultados porcentaje de productores según número de variedades que poseen en sus cultivos.

Una variedad	2%
2 a 3 Variedades	8%
4 a 5 Variedades	90%

Elaborado por: Dávalos J.,2021

**Discusión:** los resultados de la encuesta en cuanto a variedades de planta de abacá que existen en la zona un 90% de los productores tienen diferentes variedades en sus plantaciones, por tal razón se puede definir que la muestra de interés será de similares características en todas las plantaciones de la zona ya que los residuos son una mezcla de todas las variedades existentes, estas son Bungalón, Tangongón, Tango negro, Tango rojo, Meristemático.

**Tabla 14-4** Determinación de porcentaje de residuos tuxeado (tongos)

CULTIVO	Peso Tallo (ruma) (kg)	Peso tongo (kg)	%Residuos
1	80,00	25,00	68,75
2	22,00	5,00	77,27
3	91,00	32,00	64,83
4	49,00	12,50	74,48

PROMEDIO	71,33
----------	-------

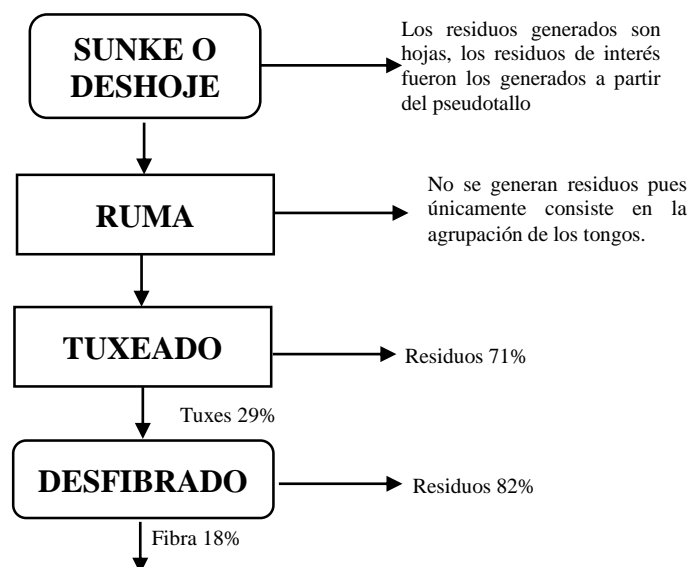
Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Discusión:** en esta etapa se generan una gran cantidad de residuos provenientes del tallo, los cuales como se expresó anteriormente en su gran mayoría se dejan en el lugar para que descompongan. Se determinó que en la misma genera un total  $71,33 \pm 5,60$  de residuos, es decir que solo apenas un 28,67 aproximadamente para a la siguiente etapa para ser procesada.

**Tabla 15-4** Determinación de porcentaje de residuos etapa de desfibrado

CULTIVO	Peso Tongo (kg)	Peso Fibra (kg)	%Residuos
1	25,00	4,10	83,96
2	5,00	0,90	82,00
3	32,00	6,00	81,25
4	12,50	2,40	80,80
<b>PROMEDIO</b>			82,00±1,40

Elaborado por: Dávalos J.;2021



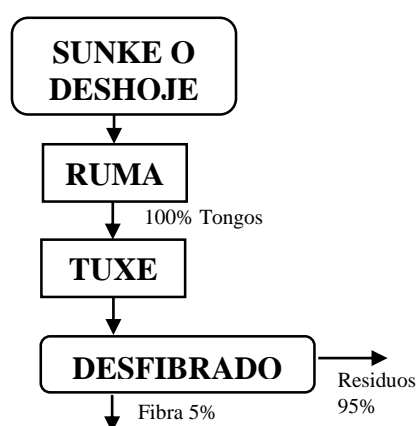
**Diagrama 2-4** Resultados de la generación de residuos por etapas %.

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 16-4** Determinación de porcentaje de residuos de proceso global

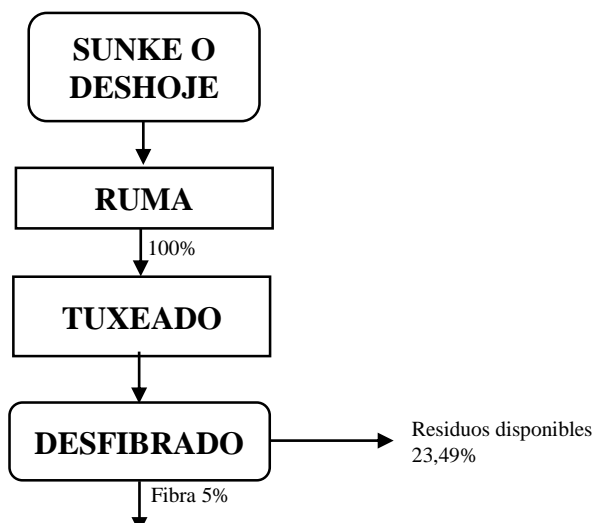
CULTIVO	% Residuos ruma-tuxeado	%Residuos proceso global	%Residuos disponibles
1	68,75	94,88	26,13
2	77,27	95,91	18,63
3	64,83	93,41	28,58
4	74,48	95,10	20,62
<b>PROMEDIO</b>			23,49±4,65

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Diagrama 3-4** Resultados de la generación de residuos proceso global %.

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Diagrama 4-4** Resultados de la generación de residuos disponibles del proceso global %

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Discusión:** del 28,67% de materia prima que pasó a la etapa de desfibrado del peso total ingresado se generó un 82,00% de residuos dejando un 18% en peso de fibra obtenida. Por su parte sumando las pérdidas totales desde la ruma hasta el desfibrado, se obtuvo que el porcentaje de residuos generados es muy alto alcanzando valores de un 95%, sin embargo, cabe recalcar que lo manifestado por los productores es que solo se estarían dispuestos a vender los generados en la etapa de desfibrado de tal manera que la disponibilidad real de residuos para la obtención del polímero biodegradable sería de alrededor del 23,49%.

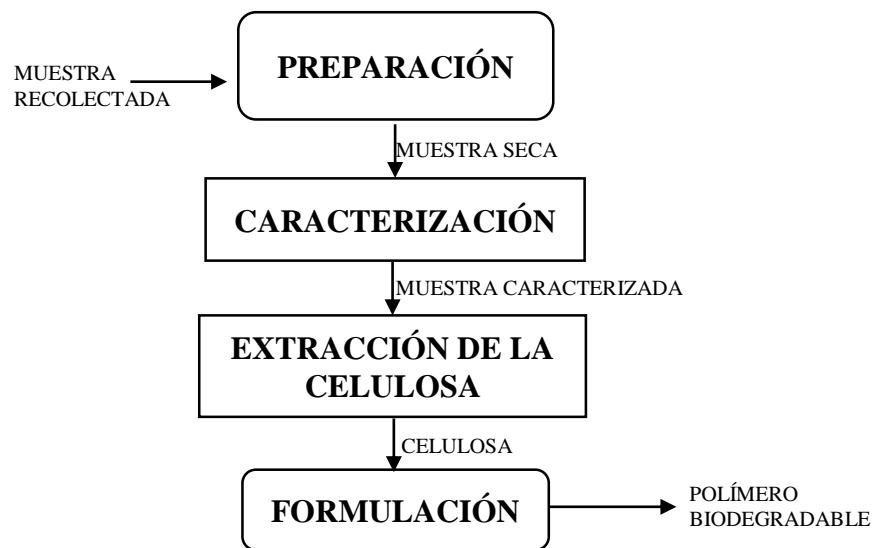
## 4.2 Muestreo

**Tabla 17-4** Parámetros empleados para realizar muestreo.

<b>Etapa escogida para la muestra</b>	Desfibrado
<b>Variedades presentes en las muestras</b>	Bungalón Tangongón Tango negro Tango rojo Meristemático
<b>Tipo de muestreo</b>	Muestreo aleatorio por conglomerados
<b>Condiciones para diferenciación</b>	Tiempo de Almacenamiento
<b>Tiempo de Almacenamiento</b>	5 días;30 días
<b>Ubicación</b>	Diferentes propiedades de la zona de estudio.
<b>Número de muestras recolectadas</b>	20

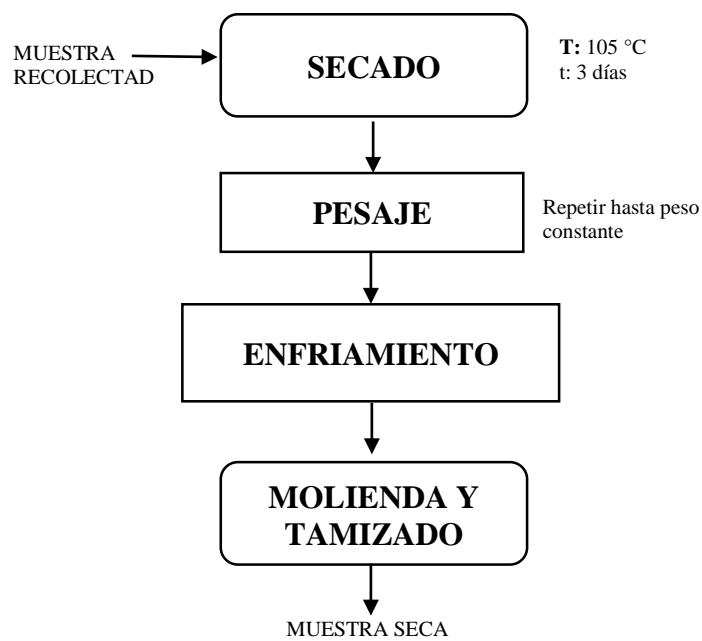
Elaborado por: Dávalos J.;2021

## 4.3 Formulación del polímero biodegradable



**Diagrama 5-4** Formulación del polímero biodegradable.

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Diagrama 6-4** Preparación de la muestra

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 18-4** Pesos registrados en el secado de muestras 5 días de almacenamiento al ambiente

BANDEJA	MUESTRA FRESCA	PESAJE 1	PESAJE 2	PESAJE 3	PESAJE 4
1	149,55	36,96	24,63	21,28	21,09

2	151,10	39,26	26,93	18,36	18,19
3	157,36	51,11	28,78	26,73	26,55
4	135,88	35,47	23,14	21,49	21,17
5	147,27	37,93	25,60	19,47	19,19
6	160,13	87,69	35,36	18,82	17,65
7	147,70	30,32	27,99	24,36	24,19
8	160,85	55,49	23,17	19,69	19,04
9	159,73	53,34	21,01	17,93	17,86
10	157,01	52,54	20,21	16,32	16,10

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 19-4** Pesos registrados en el secado de muestras 30 días de almacenamiento al ambiente

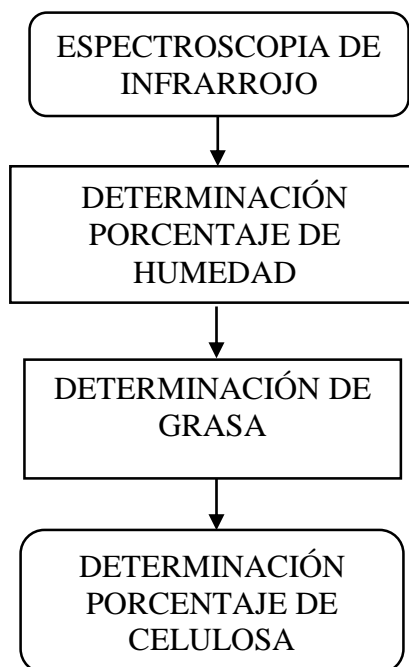
<b>BANDEJA</b>	<b>MUESTRA FRESCA</b>	<b>PESAJE 1</b>	<b>PESAJE 2</b>	<b>PESAJE 3</b>	<b>PESAJE 4</b>
1	160,36	64,72	60,78	60,03	60,03
2	103,94	47,68	48,13	48,30	48,30
3	166,85	44,88	35,34	34,25	34,25
4	150,64	46,80	33,74	30,70	30,70
5	130,91	37,31	32,87	32,08	32,08
6	90,63	27,10	26,48	26,76	26,76
7	90,26	32,41	32,28	32,98	32,97
8	191,53	53,32	38,01	33,70	33,70
9	103,66	35,58	35,77	35,24	35,24



10	129,24	28,43	32,64	32,13	32,12
----	--------	-------	-------	-------	-------

Elaborado por: Dávalos J.;2021

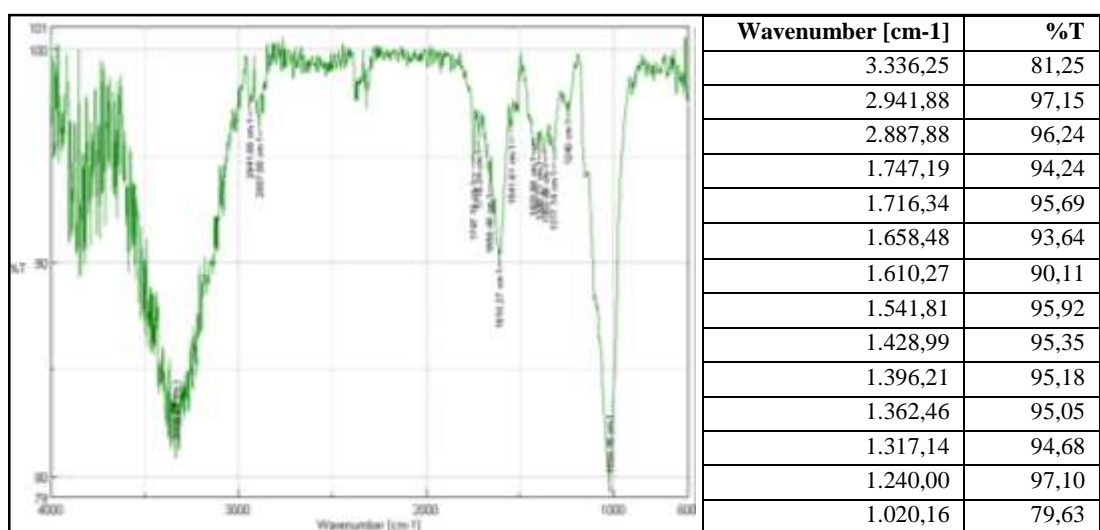
#### 4.3.2 Caracterización de la muestra



**Diagrama 7-4** Caracterización realizada

Elaborado por: Dávalos J.;2021

##### 4.3.2.1 Espectroscopia de infrarrojo:



**Gráfico 6-4** Resultados espectroscopia de infrarrojo muestra 5 días de almacenamiento

Fuente: Laboratorios ESPOCH, 2021

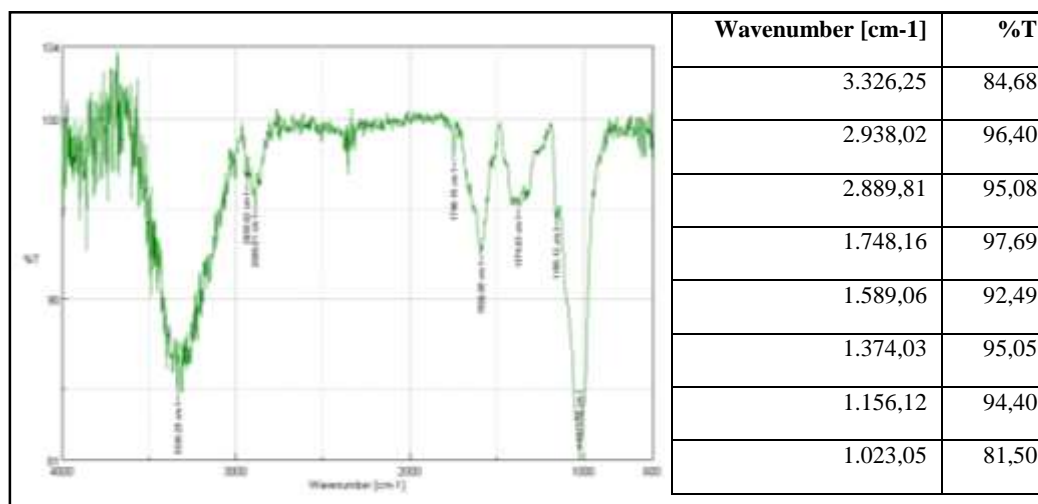
## DISCUSIÓN:

La muestra corresponde a la fibra de abacá seca y pulverizada, se observa en la zona vibracional 4.000,00-600,00  $\text{cm}^{-1}$  que presenta una banda en 3.336,25  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde a la región de 4.000,00-2.500,00  $\text{cm}^{-1}$  donde se presenta la vibración de los grupos OH presentes en sacáridos, también otras bandas en 2.941,88 y 2.887,88 que puede ser debido al estiramiento del C-H alrededor de estos valores. Refleja también valores en la región entre 2.000,00-1.500,00  $\text{cm}^{-1}$ , lo que indicaría presencia de vibración de los grupos C=O principalmente.

A 1.362,46 y 1.317,14  $\text{cm}^{-1}$  se observan vibraciones del enlace -CH<sub>3</sub>, los valores de 1.240,00 , 1.020,16; los valores presentados indican presencia de compuestos de tipo aromático y alifático, de naturaleza fenólica y compuestos polisacáridos.

Se observan picos o bandas de absorción a los 3.336,25, 1.747,19, 1.610,27-1.658,48 y 1.240,00-1.020,16  $\text{cm}^{-1}$ , lo que muestra presencia de compuestos aromáticos, fenólicos, alifáticos y estructuras polisacáridos.

Se confirma la presencia de celulosa a nivel de la banda 1.386,21, mientras que la de lignina se atribuye a los cercanos a los 1.541,81  $\text{cm}^{-1}$ .



**Gráfico 6-4** Resultados espectroscopia infrarrojo muestra 30 días de almacenamiento

Fuente: Laboratorios ESPOCH

### **Discusión:**

Se observa un espectro muy similar al de la muestra de 5 días de almacenamiento con picos en las mismas regiones, se observa en la zona vibracional 4.000,00-600,00  $\text{cm}^{-1}$  que presenta una banda en 3.336,25  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde a la región de 4.000,00-2.500,00  $\text{cm}^{-1}$  donde se presenta la vibración de los grupos OH presentes en sacáridos, también otras bandas en 2.938,02 y 2.889,81 que puede ser debido al estiramiento del C-H alrededor de estos valores. Refleja también valores en la región entre 2.000,00-1.500,00  $\text{cm}^{-1}$ , lo que indicaría presencia de vibración de los grupos C=O principalmente.

A 1.374,03 se observan vibraciones del enlace -CH<sub>3</sub>, también se presentan los valores de 1.156,12, 1.023,05; todos los valores presentados indican presencia de compuestos de tipo aromático y alifático, de naturaleza fenólica y compuestos polisacáridos.

Se observan picos o bandas de absorción a los 3.336,25, 1.748,16, 1.589,06 y 1.023,00  $\text{cm}^{-1}$ , lo que muestra presencia de compuestos aromáticos, fenólicos, alifáticos y estructuras polisacáridos.

Se confirma la presencia de celulosa a nivel de la banda 1.374,03, mientras que la de lignina se atribuye a los cercanos a los 1.589,06  $\text{cm}^{-1}$ .

El polímero que se encuentra presenta y que fue escogido como de interés para la investigación fue la celulosa, además se determinó que las muestras son de similares características, es decir se encuentran conformadas por los mismos compuestos, lo que demuestra que se podría realizar el almacenaje en un lugar adecuado para disminuir la humedad presente en los residuos, y no repercutirá en la composición química es decir que la misma no sufriría transformaciones.

#### *4.3.2.2 Determinación del porcentaje de humedad*

**Tabla 20-4** Datos de la muestra 5 días de almacenamiento

<b>Pcápsula</b>	<b>Muestra húmeda</b>	<b>Muestra seca</b>	<b>% Humedad</b>
3,64	149,55	21,09	85,90
3,38	151,10	18,19	87,96
3,42	157,36	26,55	83,13
3,07	135,88	21,17	84,42

3,41	147,27	19,19	86,97
3,48	160,13	17,65	88,98
3,27	147,70	24,19	83,62
3,10	160,85	19,04	88,16
4,25	159,73	17,86	88,82
3,14	157,01	16,10	89,75

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 21-4** Muestra de 30 días de almacenamiento

<b>Pcápsula</b>	<b>Muestra húmeda</b>	<b>Muestra seca</b>	<b>% Humedad</b>
3,53	160,36	60,03	62,56
3,09	103,94	48,30	53,53
3,24	166,85	34,25	79,47
3,14	150,64	30,70	79,62
2,62	130,91	32,08	75,50
2,97	90,63	26,76	70,47
2,98	90,26	32,97	63,47
2,40	191,53	33,70	82,41
2,67	103,66	35,24	66,00
2,75	129,24	32,12	75,14

Elaborado por: Dávalos J.;2021

### **Discusión:**

Los resultados obtenidos reflejan que los residuos poseen una gran cantidad de agua que conforma la estructura de la planta, porcentajes que llegan a alcanzar hasta un 90% tal y como hacen referencia en su trabajo Alvarez y Guevara (2020) De los resultados obtenidos se puede evidenciar que las muestras que tienen un tiempo de almacenamiento de 30 días, ya tienen un menor

porcentaje humedad, por lo que representaría ahorro en los costos y tiempos de secado para preparar la muestra.

#### 4.3.2.3 Determinación de grasa

**Tabla 22-4** Porcentaje de grasa obtenido

Muestra	Peso matraz con grasa (g)	Peso del matraz limpio y seco (g)	Peso muestra (g)	%Grasa
5 días de almacenamiento	200,03	200,01	3,15	0,45
30 días de almacenamiento	200,02	200,01	3,05	0,37

Elaborado por: Dávalos J.;2021

#### Discusión:

En estudios donde se realizaron análisis físico-químicos del mucílago de abacá se hallaron valores cercanos a los encontrados en los residuos estudiados. Los valores hallados en otras investigaciones variaron en función de la variedad por ejemplo la variedad Bungalonón presentó mayor porcentaje de grasa con un valor de 0,60% mientras que la variedad Tangongón reflejó un 0,25%, los valores en el presente trabajo si bien es cierto se encuentran en un rango entre 0,37 – 0,45% , se debe tomar en consideración de la muestra estudiada está conformada por diferentes variedades lo que es congruente con los resultados obtenidos. (Alvarez & Guevara, 2020)

#### 4.3.2.4 Determinación de porcentaje de celulosa

**Tabla 23-4** Porcentaje de celulosa obtenido

Muestra	Peso seco del residuo(g)	Peso muestra anhidra	% Celulosa
1 (5 días)	20,01	8,08	40,37
2 (30 días)	20,00	9,09	45,42

Elaborado por: Dávalos J.;2021

#### Discusión:

En el estado del arte descrito en el trabajo realizado por Pardo (2018) para la Aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de abacá a un horno calentado por GLP de la empresa NEGOINCO en la ciudad de La Concordia-Ecuador, se cita que el contenido de celulosa presente

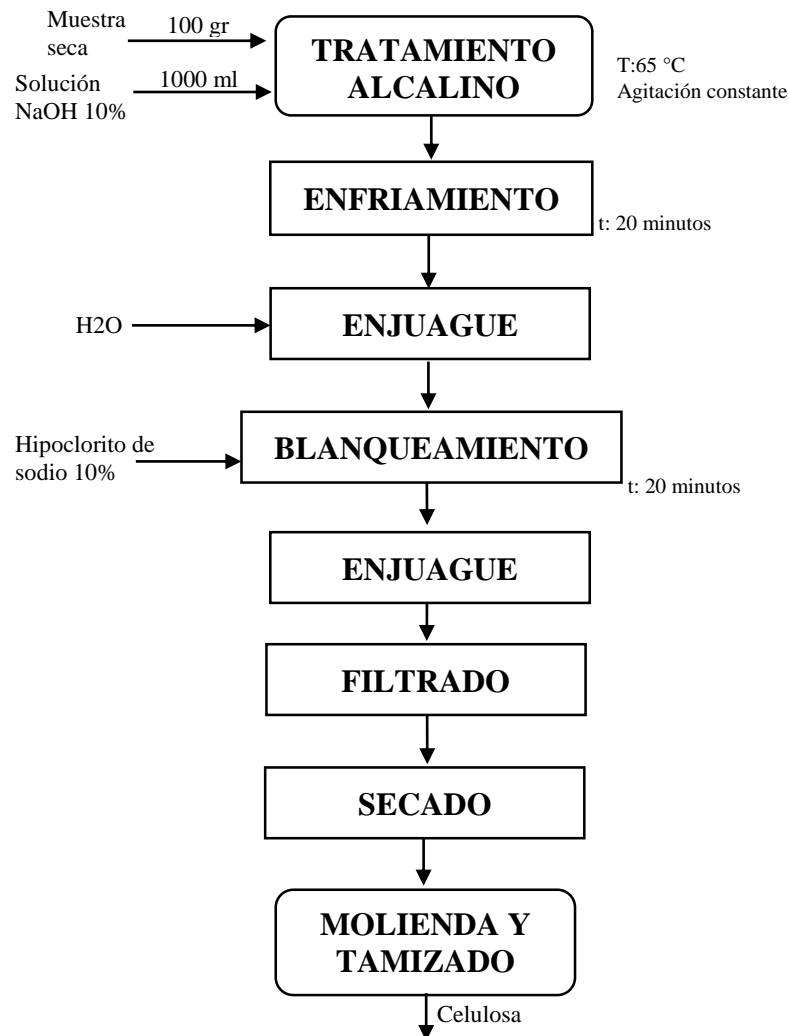
en la planta de abacá es de alrededor del 60%, los resultados obtenidos en el presente trabajo alcanzan un 45% de celulosa extraída.

#### 4.3.3 Extracción de celulosa para la formulación

**Tabla 24-4** Cantidad de celulosa extraída por cada 100 gr de muestra procesada

Muestra	Muestra inicial (gr)	Celulosa extraída (gr)
1	100,03	41,37
2	100,07	45,42

Elaborado por: Dávalos J.;2021



**Diagrama 7-4** Extracción celulosa

Elaborado por: Dávalos J.;2021

## Discusión:

De acuerdo al porcentaje de celulosa extraída se puede determinar que el procedimiento escogido para la extracción permite obtener un porcentaje óptimo, sin embargo, si se desea obtener un mayor porcentaje se deberían estudiar otros métodos.

### 4.3.4 Formulación

Tabla 25-4 Formulaciones

Tratamiento	Formulación N°	Agua (ml)	Ácido acético (ml)	Glicerina (ml)	Celulosa (g)	Almidón (g)
<b>1</b>	1	30,00	1,00	2,00	2,00	-
	2	15,00	2,00	2,00	0,45	-
<b>2</b>	3	20,00	1,50	2,00	2,00	2,00
	4	20,00	2,00	1,50	2,00	2,00
	5	20,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>3</b>	6	20,00	1,50	2,00	2,50	2,00
	7	20,00	2,00	1,50	2,50	2,00
	8	20,00	2,00	2,00	2,50	2,00
<b>4</b>	9	20,00	1,50	2,00	-	2,00
	10	20,00	2,00	1,50	-	2,00
	11	20,00	2,00	2,00	-	2,00
<b>5</b>	12	30,00	1,50	2,00	-	1,00
	13	30,00	2,00	1,50	-	1,00
	14	30,00	2,00	2,00	-	1,00
<b>6</b>	15	30,00	1,50	2,00	1,00	12,00
	16	30,00	2,00	1,50	1,00	2,00
	17	30,00	2,00	2,00	1,00	2,00
<b>7</b>	18	30,00	1,50	2,00	2,50	-

	19	30,00	2,00	1,50	2,50	-
	20	30,00	2,00	2,00	2,50	-
<b>8</b>	21	30,00	1,50	2,00	2,00	1,00
	22	30,00	2,00	1,50	2,00	1,00
	23	30,00	2,00	2,00	2,00	1,00
<b>9</b>	24	90,00	4,50	6,00	7,50	6,00
	25	90,00	6,00	4,50	7,50	6,00
	26	90,00	6,00	6,00	7,50	6,00

Elaborado por: Dávalos J.;2021

## Discusión

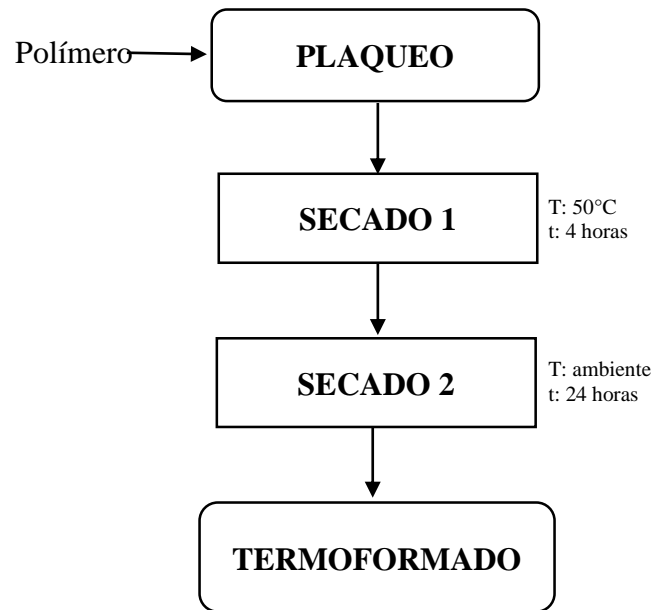
Los tratamientos 1 y 7 no son prometedores puesto que no se formó una película, debido a que la celulosa no es soluble en agua, se debe añadir obligatoriamente un porcentaje de almidón para que exista la formación del material biodegradable.

Los tratamientos 4 y 5 se emplearon como comparativos para los tratamientos 3 y 6, puesto que el principal objetivo de esta investigación es emplear los polímeros provenientes de los residuos de abacá.

El tratamiento que presentó mejores resultados es el número 3, por tal razón en el tratamiento 9 se realizó una réplica triplicando las cantidades empleadas con la finalidad de obtener mayor cantidad de material.

### 4.4 Secado y moldeo





**Diagrama 8-4.** Secado y moldeo

Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Tabla 26-4** Condiciones establecidas para el termoformado

PARÁMETROS	RANGOS
Temperatura de moldeo	40-60 °C
Tiempo de moldeo	150 segundos

Elaborado por: Dávalos J.;2021

## 4.5 Evaluación de propiedades mecánicas y biodegradabilidad del polímero

### 4.5.1 Tracción

-Esfuerzo máximo

**Tabla 27-4** Resultados tracción

Formulación	$\sigma$ (MPa)
6	0,73
7	0,98
8	0,62

Elaborado por: Dávalos J.;2021

## Discusión

Se puede observar que las formulaciones 6 y 8 poseen un menor valor de esfuerzo lo que sugeriría una resistencia mecánica más baja, en ellos se aplicó un mayor porcentaje de plastificante alrededor del 8% y este tiene la característica de mejorar la flexibilidad del material.

Los valores de resistencia a la tracción de las trazas de fibra de abacá sin procesar que se encuentran presentes en los residuos pueden bordear los 307,14 MPa según un estudio realizado por Ponce (2011) en la Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzada con fibra natural, sin embargo cabe establecer que estos no representan las propiedades que deben tener los polímeros obtenidos, esto debido a que de dichos residuos se extrajo el polímero de interés que es la celulosa. La resistencia obtenida en un estudio de Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz (García, 2015) reflejó valores entre los 0,31 MPa y 0,25 MPa, mientras que los resultados del presente estudio oscilan entre los 0,62 a 0,98 MPa, haciendo un comparativo entre materiales biodegradables obtenidos a partir de biomasa tienen la misma tendencia, sin embargo de acuerdo a la norma ASTM D 638 establece que para plásticos debe tener entre los 14 a 140 MPa por ende no cumplen la norma y son deficientes en referencia a los plásticos convencionales.

### -Deformación por tracción

**Tabla 28-4** Resultados deformación por tracción

<b>Formulación</b>	<b>%Deformación</b>
6	1,67
7	2,50
8	2,08

Elaborado por: Dávalos J.:2021

### Discusión:

La diferencia de dimensión final del material luego del ensayo fue de apenas milímetros por lo que al calcular el % deformación nos encontramos con valores bajos, siendo el que presenta un

mayor valor la muestra correspondiente a la formulación 7. Lo que significaría que este presenta menor rigidez que los otros. Seguido por la formulación 8 y finalmente el 6.

**-Módulo de elasticidad**

**Tabla 29-4** Propiedades elásticas

Formulación	E
6	0,44
7	0,39
8	0,29

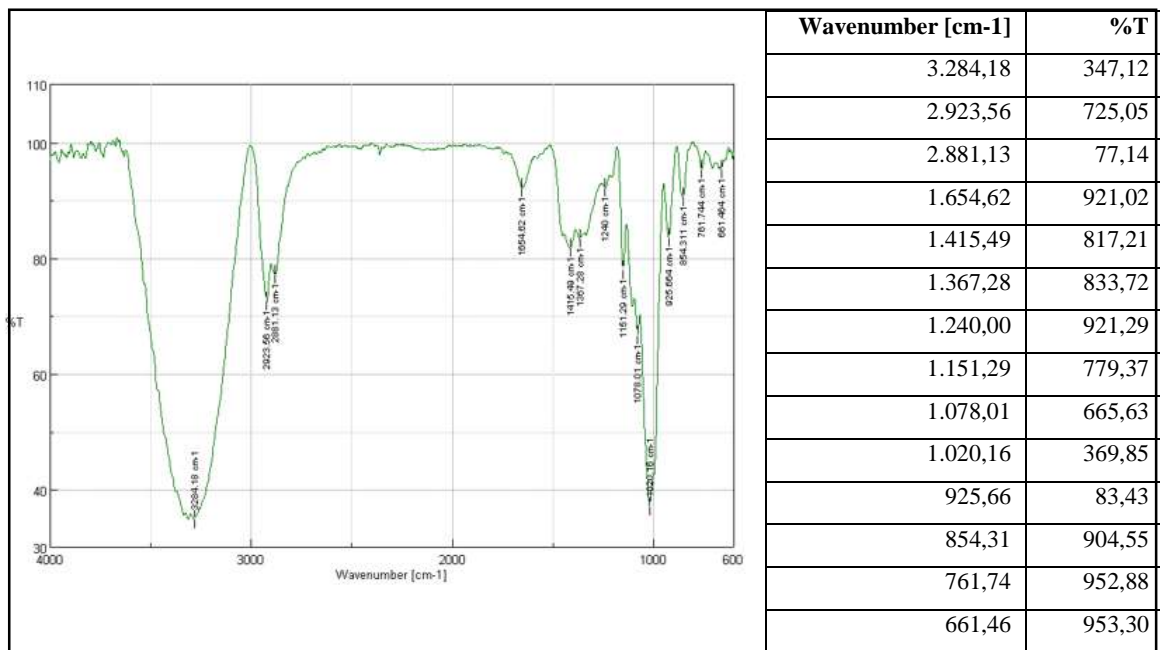
Elaborado por: Dávalos J.;2021

**Discusión:**

La formulación que presenta mayor rigidez es la número 6 ya que presenta un mayor módulo de elasticidad.

De las pruebas mecánicas se pueden concluir que la mejor formulación corresponde al número 8 ya que presenta una menor resistencia a la tracción, presenta un % de deformación intermedio en comparación con las otras y es el menos rígido de las tres muestras estudiadas.

**4.5.2 Espectroscopia de infrarrojo**



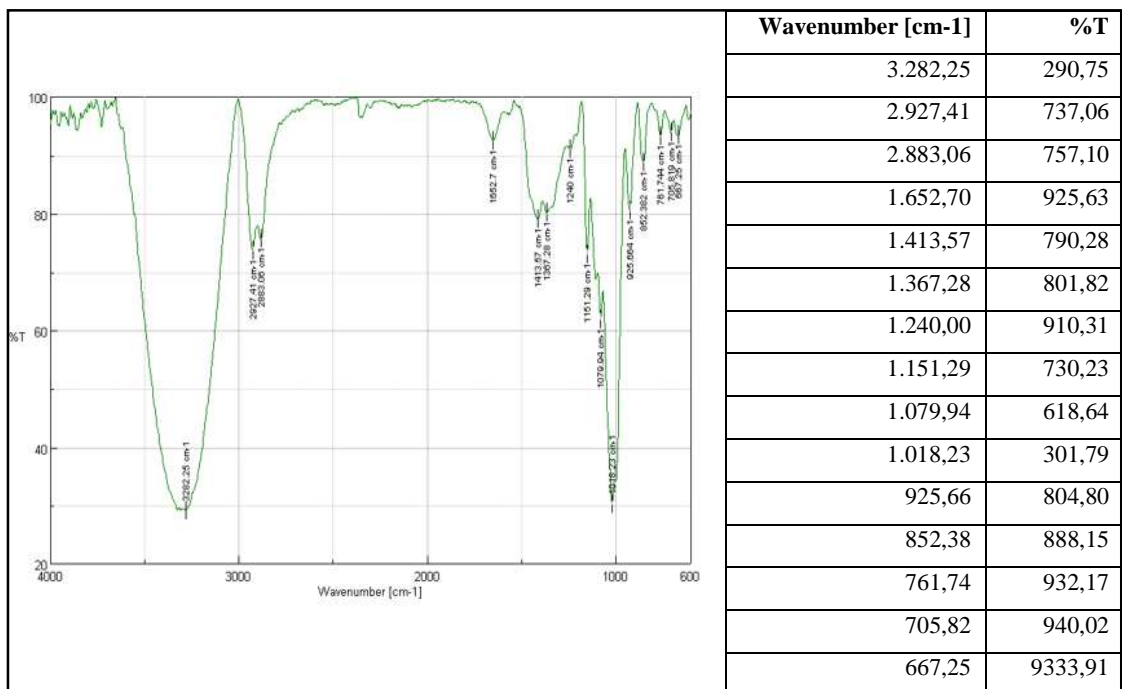
**Gráfico 8-4** Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 6

FUENTE: Laboratorios ESPOCH, 2021

**Discusión:**

Se observa picos en la zona vibracional 4.000,00-600,00 cm-1, una vibración en 3.284,18 cm-1 que corresponde a la región de 4.000,00-2.500,00 cm-1 donde se presenta la vibración de los grupos OH presentes, una banda de 1.654,62 indicativo de presencia de agua; también otras bandas en 2.928,56 y 2.881,13 sugieren presencia de C-H saturados, las flexiones simétricas de los mismos se encuentran en 1.367,28 cm-1.

En las regiones comprendidas entre 1.151,23 a los 1.020,16 cm-1 corresponden a estiramientos de compuestos alcoholes primarios y secundarios, la glicerina es un derivado de los alcoholes. No se encuentra presente la banda cercana a los 1.589,06 cm-1, atribuida a la lignina.

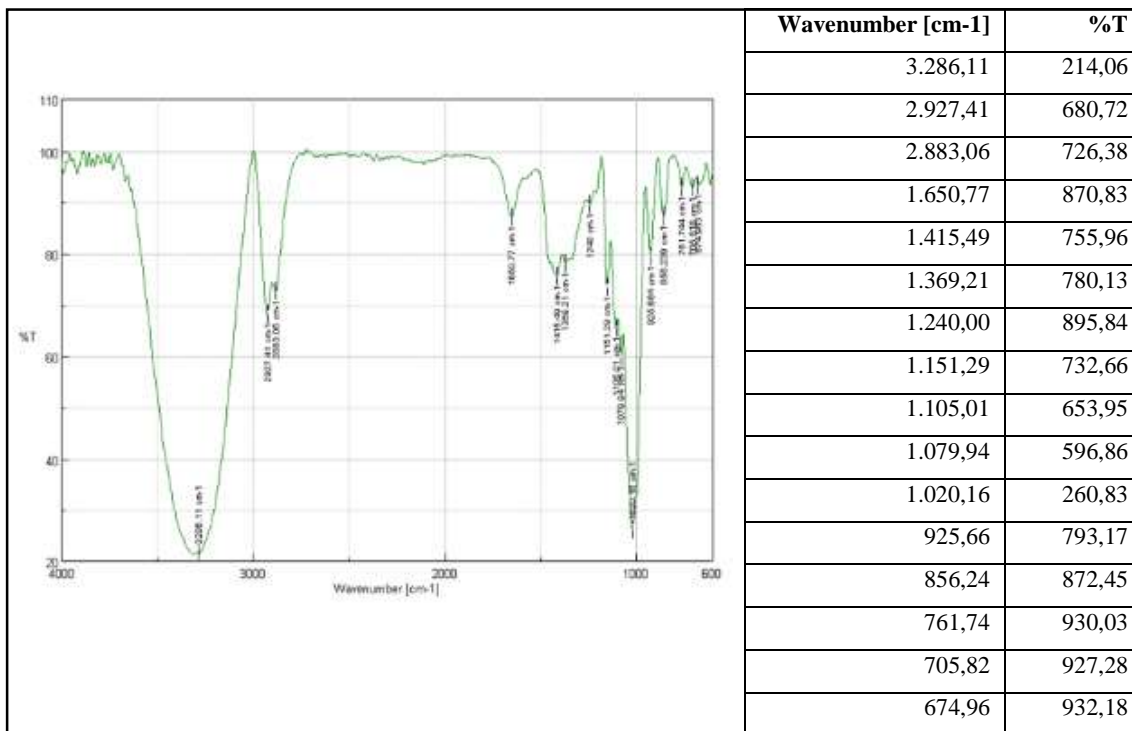


**Gráfico 7-4** Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 7

**FUENTE:** Laboratorios ESPOCH, 2021

**Discusión:** Se observa picos en la zona vibracional 4.000,00-600,00 cm-1, una vibración en 3.282,25 cm-1 que corresponde a la región de 4.000,00-2.500,00 cm-1 donde se presenta la vibración de los grupos OH presentes, una banda de 1.652,7 indicativo de presencia de agua; también otras bandas en 2.927,56 y 2.883,06 sugieren presencia de C-H saturados, las flexiones simétricas de los mismos se encuentran en 1.367,28 cm-1 .

En las regiones comprendidas entre 1.151,29 a los 1.018,23 cm-1 corresponden a estiramientos de compuestos alcoholes primarios y secundarios, la glicerina es un derivado de los alcoholes. No se encuentra presente la banda cercana a los 1.589,06 cm-1, atribuida a la lignina.



**Gráfico 10-4** Resultados de espectroscopia de infrarrojo formulación 8

FUENTE: Laboratorios ESPOCH, 2021

**Discusión:**

Se observa picos en la zona vibracional 4.000,00-600,00 cm-1, una vibración en 3.286,11 cm-1 que corresponde a la región de 4.000,00-2.500,00 cm-1 donde se presenta la vibración de los grupos OH presentes, una banda de 1.650,77 indicativo de presencia de agua; también otras bandas en 2.927,41 y 2.883,06 sugieren presencia de C-H saturados, las flexiones simétricas de los mismos se encuentran en 1.369,21 cm-1.

En las regiones comprendidas entre 1.151,29 a los 1.020,16 cm-1 corresponden a estiramientos de compuestos alcoholes primarios y secundarios, la glicerina es un derivado de los alcoholes. No se encuentra presente la banda cercana a los 1.589,06 cm-1, atribuida a la lignina.

Las tres muestras estudiadas presentan espectros similares por lo que se puede concluir que tienen la misma composición química.

### 4.5.3 Biodegradabilidad

#### 4.5.3.1 Observación de cambios/tiempo

**Tabla 30-4** Formulaciones resumen semanal

Formulaciones	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
6	A	B	C	D	E
7	A	B	C	D	E
8	A	B	C	D	E

Elaborado por: Dávalos J.; 2021

A= No se observan cambios

B=Se observa mínima degradación

C=Se aprecia degradación notable

D=Se observan trazas de material

E= El material se ha degradado casi en su totalidad

#### **Discusión:**

De la inspección se puede establecer que el polímero biodegradable sufrió una degradación casi completa en un período de 5 semanas, esto se debe a que los componentes empleados entre ellos la celulosa y glicerina se degrada fácilmente en el suelo por acción de los microorganismos. La glicerina por su parte al tener mayor afinidad con la humedad del suelo por su naturaleza de tipo hidrofílico se degrada más rápido es decir en un menor tiempo.

### 4.6 Socialización del Proyecto

Los productores se mostraron interesados ya que de darse un proyecto de tal magnitud en la parroquia les permitiría tener una fuente de ingreso proveniente de la venta de los residuos, ya que como manifestaron en la encuesta realizada ellos estarían dispuestos a vender sus residuos, además de que estarían generando un impacto positivo al medio ambiente, y dando un valor agregado a los residuos.

## CONCLUSIONES

- Se efectuó el diagnóstico de la situación actual en la generación de desechos de abacá, del mismo se pudo determinar que actualmente del total de residuos que se generan en la parroquia un  $23,49 \pm 4,65$  % correspondería a los disponibles para emplearse como materia prima para la elaboración del polímero biodegradable, adicional a ello se estableció que estos provienen de la etapa de desfibrado del abacá.
- Se realizó un muestreo aleatorio por conglomerados ya que se determinó que la población de cultivos es grande y dispersa, un aproximado de 2.405 has a nivel del cantón La Concordia donde más del 70% se encuentran concentradas en la parroquia monterrey, además más del 90% de los productores manifestaron tener diferentes variedades de abacá sembradas en un mismo cultivo, las variedades son las mismas en toda la zona Bungalonón, Tangongón, Tango negro, Tango rojo y Meristemático. Por lo tanto, los residuos tienen componentes de todas ellas razón por la cual no se pudo realizar una diferenciación de los residuos por la variedad de planta, sino se lo realizó más bien por el tiempo de almacenamiento.
- Se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio para la preparación del polímero biodegradable, al realizar la caracterización se evidenció que la muestra con un tiempo de almacenamiento de 30 días presentó un menor porcentaje de humedad, lo que ayudaría a reducir pérdidas de volumen en el proceso, además de reducir los tiempos de secado y reduciría costos por la optimización de estos procesos. Se determinó que las muestras de 5 y 30 días tienen un porcentaje de grasa de 0,45 y 0,37 respectivamente. Y mediante la espectroscopia de infrarrojo se determinó la presencia de celulosa y ligninas, para el proyecto se escogió la celulosa como el polímero de interés para la obtención del material biodegradable, finalmente se realizó la extracción de la celulosa y la formulación mediante un diseño de experimentos. Se escogió como mejor tratamiento el número 3 que contiene las formulaciones 6,7 y 8.
- Se establecieron temperaturas de 50°C para el secado en estufa una vez obtenida la mezcla homogénea del material y un tiempo de 4 horas, se eligió el método casting para el primer moldeo donde se esparció la mezcla en placas de vidrio y se ingresó a la estufa a las condiciones determinadas. Luego se dejó a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas. Mediante termoformado se le puede dar la forma deseada.

- Se realizaron ensayos de tracción para las formulaciones escogidas se pudo concluir que la formulación 8 corresponde a la mejor opción ya que presentó una menor resistencia a la tracción, presentó un % de deformación intermedio en comparación con las otras y es el menos rígido de las tres muestras estudiadas. Además, se les realizó una espectroscopia de infrarrojo donde se determinó que existe presencia de celulosa, ausencia de ligninas y presencia de la glicerina empleada, el espectro fue muy similar en los tres casos lo que indica que tienen la misma composición química. Tomando como referencia la prueba de resistencia a la tracción los prototipos no cumplen con la norma ASTM D 638 que establece que para plásticos debe tener entre los 14 a 140 MPa por lo que se considerarían deficientes en referencia a los plásticos convencionales, las formulaciones con ausencia de almidón no lograron formar la película de polímero por lo que es importante concluir que se debe agregar obligatoriamente otro polímero además de la celulosa en este caso almidón para permitir la formación de la película. También se podrían realizar investigaciones para modificar la celulosa obtenida y lograr mejorar las características del polímero obtenido.
- La socialización realizada tuvo resultados positivos ya que existió un gran interés por parte de los productores, ya que les permitiría generar ingresos provenientes de la venta de los residuos, además generar un impacto positivo al medio ambiente, y dar un valor agregado a los residuos.



## RECOMENDACIONES

- Para disminuir los tiempos de secado en la estufa y facilitar esta operación se sugiere realizar el almacenamiento previo de los residuos en un lugar seco y donde se puedan escurrir los para eliminar la mayor cantidad de humedad posible.
- Se debe preparar toda la materia seca necesaria para la extracción de celulosa ya que si no se tiene suficiente cantidad se deberá repetir el proceso y recaerá en pérdidas de tiempo.
- La celulosa extraída de los residuos de abacá podría emplearse en la industria de los bioplásticos para ser combinada con otros polímeros y reducir así tiempos de biodegradabilidad.
- El presente estudio podrá emplearse como antecedente para otras investigaciones en el aprovechamiento de los residuos del desfibrado de abacá

## BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, M., Galán, L., Morales, L., & Arevalo, K. (2018). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y BIODEGRADABILIDAD DE PLÁSTICOS (CAST-FILMS) ELABORADOS A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA, PECTINA Y ALCOHOL POLIVINILICO (PVOH). *Departamento de Microbiología e Inmunología*, 2–3.
- Alvarez, N., Guevara, D. (2020). “ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL CRECIMIENTO EN EL PROCESO FERMENTATIVO DE ABACÁ (*Musa textilis*) PARA LA BIOCONSERVACIÓN Y LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CON FINES INDUSTRIALES”. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Arias, C. (2018). *Estudio de la biodegradabilidad y ecotoxicidad de plásticos oxodegradables de mayor uso en Colombia*.
- Calderón Freire, E. F., Torres Gallegos, L., & Ortega Espín, A. (2019). Fabricación De Material Biodegradable a Base De Polimeros Termoplásticos Combinados Con Fibras Cortas De Lino. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 32–38. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1402>
- Cardona, J. H. (2019). OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Cifuentes, E., Cifuentes, W. (2019). *PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LA FIBRA DE PLÁTANO EN LA REGIÓN DEL ARIARI DEPARTAMENTO DEL META*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Chang, A. A., & Montero, G. E. (2015). *Análisis Del Comportamiento Del Sector .Exportador Del Abacá En El Ecuador*. 130.
- Correia, V. C., Santos, S. F., Tonoli, G. H. D., & Savastano, H. (2020). Characterization of vegetable fibers and their application in cementitious composites. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102704-2.00007-x>
- Díaz, F. (2012). CONFORMADO DE MATERIALES PLÁSTICOS. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Eva, G., & Isabel, F. (2012). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. *ETSIAMN. Universitat Politècnica de València*.
- Fombuena, V., Fenollar, O., & Montañés, N. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. 21.
- Gálvez, A. (2016). *ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (Zea mays)*.
- García, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. In *International Journal of Modern Physics B* (Vol. 25, Issue 26). <https://doi.org/10.1142/S0217979211101259>
- Herranz, G., & Proyecto, M. L. A. (n.d.). *Estudio de los mecanismos de reticulación en la obtención*

*de microcápsulas de gelatina-goma arábica.*

- Holguin Cardona, J. (2019). *OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA.*
- Labeaga Viteri, A. (2018). Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. *Files.Bartolomevazquezbernal. ...*, 1–50.
- Layedra, F., Galeas, S., & Guerrero, V. (2015). Estudio de la Biodegradación de un Material Compuesto Obtenido con Ácido Poliláctico ( PLA ) Reforzado con Fibra Corta de Abacá ( Musatextilis ). *Revista Politécnica*, 35(3), 1–8.
- Luis, P. (2004). MUESTREO. *Punto Cero*, 69–74.
- Möller, J. (2014). Comparación de los métodos para la determinación de fibra en pienso y en los alimentos. *Dedicated Analytical Solutions, December*, 5.
- Pascual Insa, J. (2016). *Desarrollo de un nuevo material biodegradable para el sector agrario basado en ácido poliláctico reforzado con gluten y aceite de linaza epoxidado como plastificante.* 116.
- Romero, E., Montero, G., Toscano, Pérez, L., Torres, R., & Beleño, M. T. (2014). Determinación de los principales componentes de la biomasa lignonocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico. *XVII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas, October*, 114–118.
- Rosales, A. (2016). *Departamento de Química TÍTULO : Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga ( Colocasia esculenta ), por el método de polimerización por condensación en el Mayo – Abril 2016.* 1–79.
- Salas, A. (2009). *Obtención de Compuestos de Polietileno Reforzado con Fibras de Abacá Mediante Moldeo por Compresión.* 1–212.
- Sánchez, A. (2016). Modelado Del Proceso De Extracción De Ácido Acético Con Recuperación Del Disolvente Orgánico. *IndustrialES*, 81.
- Torres, E. (2021) .Producción y Exportación del Abacá en el Ecuador. *Universidad Agraria del Ecuador*.23
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002>
- València, P. (2017). *Instituto Tecnológico del Plástico AIMPLAS.* Propiedades Mecánicas.

## ANEXOS

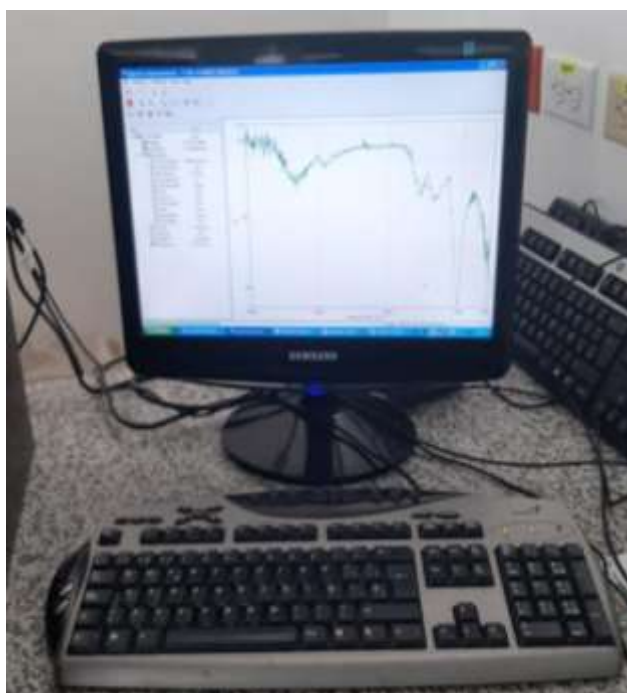
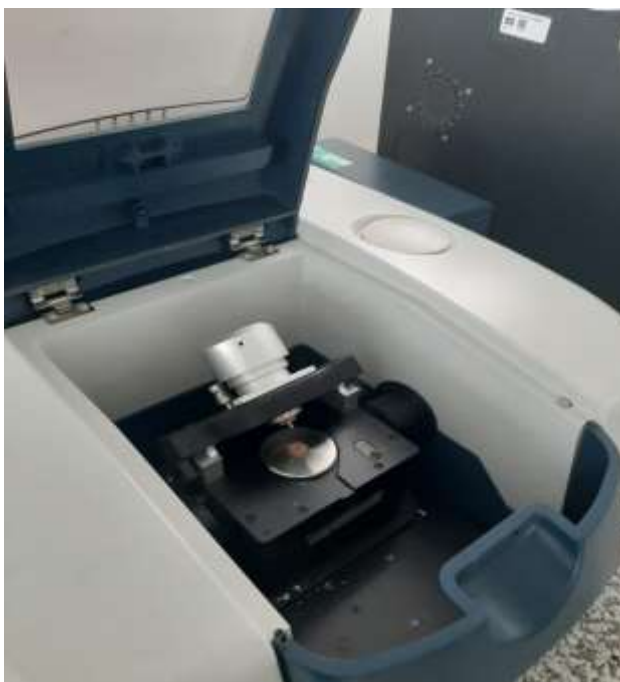
### Anexo A Secado de muestra



Anexo B. Molienda de la muestra



## Anexo C Espectroscopia infrarrojo

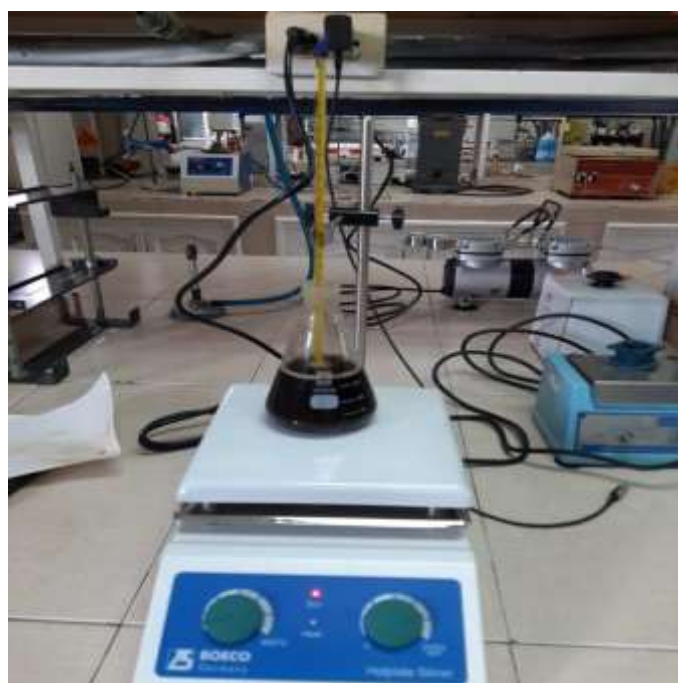


## Anexo D Formulación del material





## Anexo E Extracción de celulosa





Anexo F Toma de datos



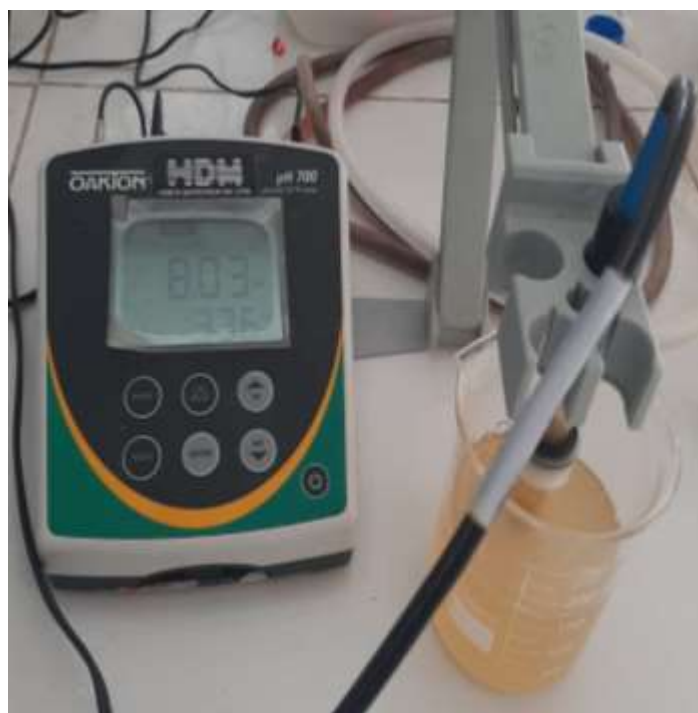
Anexo G Celulosa extraída



Anexo H Celulosa extraída



# Anexo I Lectura de pH



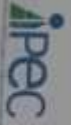
Anexo J Filtrado al vacío



Anexo K Encuestas



INSTITUTO DE INVESTIGACION Y EDUCACION CUBANA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CIBAO



TITULO

OBJETIVO DE UN ACORDADO INTERMUNICIPAL A PARTIR DE EXPERIENCIAS DEL GOBIERNO DE ALICIA  
GARCÍA TERRAZA PARA EFECTUAR LA CONSTRUCCIÓN PRODUCTIVA EN LA PARROQUIA MOYERREYES DEL  
CANTÓN LA CONCORDIA

Muestreo: no. James García  
ARTIFICIOS Y MUESTREOS  
Encuestado: Edil RIVERA ENCUESTA  
Directores de la Sección Actual

Marque con una X todas las respuestas que se ajusten a su realidad

Resolución: Determinación del destino final de los residuos generados en las etapas del proceso de  
exposición de fibra de la fibra de algodón

1. ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la fibra de algodón?

Deja en la finca  
 Riego en un lugar apartado  
 Venta  
 Regala  
 Abandona  
 Quemado  
 Otro

Si marca la opción otra, especifique: \_\_\_\_\_

2. ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de fibra?

Deja en la finca  
 Bota en un lugar apartado  
 Venta  
 Regala  
 Abandona  
 Quemado  
 Otro

Si marca la opción otra, especifique: \_\_\_\_\_

3. ¿Qué destino se da a los residuos resultantes de la etapa de exposición de la fibra?

Deja en la finca  
 Bota en un lugar apartado  
 Venta  
 Regala  
 Abandona  
 Quemado  
 Otro

Si marca la opción otra, especifique: \_\_\_\_\_

---

Complete la cantidad que corresponde

Exprese la cantidad de hectáreas de cultivo de fibra de algodón

4. ¿Cuál es la hectárea de fibra de algodón por?

2 \_\_\_\_\_ ha

Exprese la cantidad de toneladas de fibra producida

5. ¿Cuál es la cantidad de fibra producida?

2000 kg y otro

Exprese la distribución de toneladas de fibra producida

6. ¿Cuál es la distribución de toneladas de fibra producida?

100 y 500 kg

Exprese el costo promedio de producción de fibra

7. Indique el costo promedio por cada tonelada de fibra

1200 y 1500

Exprese la cantidad de la muestra

8. Indique que cantidad de toneladas de fibra de algodón muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

9. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

11. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

12. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

13. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

14. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

15. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

16. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

17. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

18. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

19. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas

Exprese la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

20. Indique la cantidad de toneladas de fibra de algodón por cada muestra

10 toneladas y 15 toneladas



## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo obtener un polímero biodegradable a partir de desechos del desfibrado de abacá (*Musa textillis*) para evitar la contaminación producida en la Parroquia Monterrey del Cantón La Concordia. Se realizó el diagnóstico de la situación actual aplicando una encuesta en donde se determinó que existe un 27,49 % de residuos disponibles para ser empleados como materia prima en la elaboración de materiales biodegradables; Se efectuó una caracterización mediante ensayos de humedad, grasas y espectroscopia de infrarrojo los cuales detectaron la presencia de celulosa y lignina. Seguidamente se extrajo la celulosa para ser utilizada como materia prima principal en la elaboración de material biodegradable. Una vez obtenidas las formulaciones se aplicó el método casting para formación de las láminas de polímero y posterior moldeo a través de termoformado. El tratamiento que presentó mejores características en cuanto a textura, uniformidad, formación de película y apariencia visual fue el número tres correspondiente a las formulaciones seis, siete y ocho mismas que posteriormente se les efectuó pruebas de tracción, espectroscopia de infrarrojo y biodegradabilidad. Al comparar los resultados de las pruebas mecánicas con la norma ASTM D 638 para plásticos que establece que estos deben llegar a un esfuerzo máximo entre 14 a 140 MPa , si bien es cierto se logró obtener un polímero biodegradable conclusión gracias a la prueba biodegradabilidad ; estos no lograron alcanzar características similares los plásticos convencionales, a pesar de ello este estudio representa un gran precedente para otras investigaciones para el aprovechamiento de residuos del desfibrado de abacá y en la industria de productos bioplásticos ya se puede mezclar con otros productos para reducir tiempos de biodegradabilidad. Finalmente se realizó la socialización del proyecto con los productores de la parroquia Monterrey del cantón La Concordia quienes acogieron favorablemente el mismo.

**Palabras claves:** <POLÍMERO BIODEGRADABLE> <ABACÁ (*Musa textillis*)> <CELULOSA>  
<LIGNINA> <TRACCIÓN> <ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO>  
<BIODEGRADABILIDAD> <FIBRA> <DESFIBRADO>



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**



0079-DBRA-UPT-IPEC-2022

## ABSTRACT

The objective of this research project was to obtain a biodegradable polymer from waste abacá shredding (*Musa textillis*) in order to avoid contamination in the Monterrey parish of La Concordia Canton. A diagnosis of the current situation was made by applying a survey in which it was determined that there is 27.49 % of waste available to be used as raw material in the production of biodegradable materials; a characterization was carried out by means of moisture, fat and infrared spectroscopy tests which detected the presence of cellulose and lignin. Cellulose was then extracted to be used as the main raw material in the production of biodegradable material. Once the formulations were obtained, the casting method was applied to form the polymer sheets and subsequent molding by thermoforming. The treatment that presented the best characteristics in terms of texture, uniformity, film formation and visual appearance was number three, corresponding to formulations six, seven and eight, which were subsequently subjected to traction, infrared spectroscopy and biodegradability tests. When comparing the results of the mechanical tests with the ASTM D 638 standard for plastics, which establishes that these should reach a maximum effort between 14 to 140 MPa, although it is true that a biodegradable polymer was obtained thanks to the biodegradability test; these did not achieve similar characteristics to conventional plastics, in spite of this, this study represents a great precedent for other investigations for the use of abaca defibering residues and in the industry of bioplastic products it can already be mixed with other products to reduce biodegradability times. Finally, the project was socialized with the producers of the Monterrey parish of La Concordia canton who favorably welcomed the project.

Key words: <BIODEGRADABLE POLYMER <ABACÁ > <CELLULOSE> <LIGNIN>  
<TRACTION> <INFRARROW SPECTROSCOPY> <BIODEGRADABILITY> <FIBER>  
<DESFIBRATED>.



Firmado electrónicamente por:  
JORGE SANTIAGO  
SANTAMARIA  
SERRANO