



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**“PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA EL  
USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS  
DE YUCA (*Manihot esculenta*)”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** MELANIE VALERIA CHIMBO ENCALADA

**DIRECTOR:** Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

**© 2021, Melanie Valeria Chimbo Encalada.**

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

Yo, Melanie Valeria Chimbo Encalada, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de julio de 2021

**Melanie Valeria Chimbo Encalada**

**060479259-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto de Investigación. **“PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA EL USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS DE YUCA (*Manihot esculenta*)”**., realizado por la Srta.: **MELANIE VALERIA CHIMBO ENCALADA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

|  | <b>FIRMA</b>  | <b>FECHA</b> |
|--|---|--------------|
| Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos MSc.<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>               | <br>Firmado electrónicamente por:<br><b>MONICA LILIAN<br/>ANDRADE<br/>AVALOS</b> | 2021-07-21   |
| Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD.<br><b>DIRECTOR DE TRABAJO DE<br/>TITULACIÓN</b> | <br>Firmado electrónicamente por:<br><b>HANNIBAL<br/>LORENZO BRITO<br/>MOINA</b> | 2021-07-21   |
| Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes MSc.<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>                   | <br>Firmado electrónicamente por:<br><b>PAUL GUSTAVO<br/>PALMAY PAREDES</b>      | 2021-07-21   |

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado principalmente a Dios y a la Virgencita Dolorosa, por brindarme una maravillosa familia, protegerme de toda adversidad y ayudarme a salir adelante cuando más lo he necesitado, de manera especial me gustaría dedicarle este trabajo a mi mamá Marlene Encalada, mi padre Silvio Chimbo y a mi hermana Emily, por su gran amor, paciencia y apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida, todo mi esfuerzo y gratitud es hacia ellos.

A mis demás familiares que me apoyaron durante toda mi infancia y en el transcurso de mi carrera profesional, por su amor y confianza para que pueda cumplir todas mis metas. Afectuosamente a mi novio Steven por su amor, apoyo y protección en mi vida; y a todos mis amigos que me apoyaron incondicionalmente en el trayecto de mis estudios.

**Valeria**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco sobre todas las cosas a Dios, por cuidarme en salud y vida, bendecirme con una hermosa familia, darme fuerza y perseverancia, y ayudarme a salir adelante para cumplir todas mis metas, de la misma forma agradezco a mis padres y hermana por acompañarme en el transcurso de mi vida, por brindarme una mano cuando más los necesito y protegerme como mis ángeles de la guarda. A mis abuelitos Telmo y Melania y a mis tías Mirian y Janeth por ayudarme en cada instante de mi vida, y de forma incondicional apoyarme para poder cumplir todos mis sueños.

A mis mejores amigas: Marilyn, Katyta, Evelyn, Bárbara, Janina, Melissa, Tefita por ser parte de mi vida desde muy pequeñas y poder compartir locuras, risas, consejos y anécdotas que han marcado mi vida profundamente, así como también a mis amigos Alexis, Daniel, Pepe, Gixson, Wladimir, Iza, Stefany, Rosita, Checho, David y muchos más que tuve el privilegio de conocer en mi vida, por el apoyo y el montón de anécdotas que tenemos para recordar y si es posible en un futuro seguir compartiendo muchos más recuerdos.

A mis maestros, principalmente a mi tutor, el Ing. Hannibal Brito, que me brindó la apertura del Laboratorio de Investigaciones y poder formar parte de su equipo de investigación, le expreso mi sincera admiración, agradecimiento y respeto, ya que gracias a él y su guía en mi estancia académica, pude formarme como profesional y culminar mis estudios universitarios; agradezco también por su apoyo, asesoramiento y motivación para poder realizar mi trabajo de tesis, al Dr. Mauricio Álvarez, técnico del Laboratorio de Investigaciones, por la capacitación, guía y asistencia técnica de equipos, para poder realizar la parte experimental de mi trabajo de investigación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por ser mi segundo hogar, abrirme las puertas de sus instalaciones, darme la oportunidad de formarme como profesional dentro de sus aulas y permitirme conocer personas maravillosas que se han convertido en piezas fundamentales de mi vida.

**Valeria**

## TABLA DE CONTENIDOS

|                         |      |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | ix   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | XI   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | XII  |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....   | XIII |
| RESUMEN.....            | XIV  |
| SUMMARY.....            | XV   |
| INTRODUCCIÓN.....       | 1    |

## CAPÍTULO I

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1. Antecedentes de la investigación.....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1.2. Marco teórico.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.2.1. Producción agrícola del Ecuador.....</b>                              | <b>6</b>  |
| <b>1.2.1.1. Yuca.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.2.1.2. Generalidades.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1.3. Tipos de yuca.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1.2.1.4. Composición de la yuca dulce.....</b>                               | <b>10</b> |
| <b>1.2.1.5. Utilización de la Yuca Dulce.....</b>                               | <b>11</b> |
| <b>1.2.2. Almidón.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>1.2.2.1. Almidón de yuca.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>1.2.2.2. Amilosa.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>1.2.2.3. Amilopectina.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1.2.2.4. Obtención del Almidón.....</b>                                      | <b>14</b> |
| <b>1.2.2.5. Propiedades del almidón.....</b>                                    | <b>16</b> |
| <b>1.2.3. Polímeros.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>1.2.3.1. Clasificación de los polímeros.....</b>                             | <b>17</b> |
| <b>1.2.3.2. Polímeros sintéticos.....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>1.2.3.3. Biopolímeros o Bioplásticos.....</b>                                | <b>19</b> |
| <b>1.2.4. Aditivos usados para la obtención del polímero biodegradable.....</b> | <b>21</b> |
| <b>1.2.5. Tiempo de biodegradación.....</b>                                     | <b>22</b> |
| <b>1.2.6. Aplicaciones de los polímeros biodegradables.....</b>                 | <b>23</b> |

## CAPÍTULO II

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>2.</b>               | <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>24</b> |
| 2.1.                    | <b>Objetivos.....</b>   | <b>24</b> |
| 2.1.1.                  | <i>General.....</i>   | <i>24</i> |
| 2.1.2.                  | <i>Específicos.....</i>   | <i>24</i> |
| 2.2.                    | <b>Hipótesis y especificación de variables.....</b>   | <b>24</b> |
| 2.2.1.                  | <i>General.....</i>   | <i>24</i> |
| 2.2.2.                  | <i>Específicas.....</i>   | <i>24</i> |
| 2.2.3.                  | <i>Identificación de variables.....</i>   | <i>25</i> |
| 2.2.4.                  | <i>Operacionalización de variables .....</i>  | <i>26</i> |
| 2.2.5.                  | <i>Matriz de consistencia .....</i>   | <i>27</i> |
| 2.3.                    | <b>Tipo y diseño de investigación .....</b>   | <b>28</b> |
| 2.3.1.                  | <i>Por el tipo de investigación.....</i>  | <i>28</i> |
| 2.3.2.                  | <i>Diseño experimental de la investigación.....</i>   | <i>28</i> |
| 2.4.                    | <b>Unidad de Análisis .....</b>   | <b>30</b> |
| 2.5.                    | <b>Población de Estudio .....</b>   | <b>30</b> |
| 2.6.                    | <b>Tamaño y selección de la Muestra .....</b>   | <b>30</b> |
| 2.7.                    | <b>Técnicas de Recolección de Datos Experimentales.....</b>   | <b>30</b> |
| 2.7.1.                  | <i>Lugar de realización .....</i>   | <i>30</i> |
| 2.7.2.                  | <i>Técnica de extracción del almidón.....</i>   | <i>31</i> |
| 2.7.3.                  | <i>Caracterización del almidón y materia prima de cáscara de yuca (Manihot<br/>esculenta) .....</i>                                       | <i>32</i> |
| 2.7.3.1.                | <i>Técnica de caracterización del almidón extraído .....</i>  | <i>32</i> |
| 2.7.3.2.                | <i>Caracterización de la materia prima de cáscara de yuca (Manihot esculenta).....</i>  | <i>38</i> |
| 2.7.4.                  | <i>Elaboración y caracterización del plástico biodegradable a partir de las<br/>formulaciones planteadas en el diseño factorial. ....</i> | <i>40</i> |
| 2.7.4.1.                | <i>Proceso para la obtención del bioplástico .....</i>  | <i>41</i> |
| 2.7.4.2.                | <i>Análisis sensorial.....</i>  | <i>42</i> |
| 2.7.4.3.                | <i>Determinación del Espesor.....</i>   | <i>42</i> |
| 2.7.4.4.                | <i>Determinación de Humedad .....</i>   | <i>43</i> |
| 2.7.4.5.                | <i>Determinación de Solubilidad en agua .....</i>   | <i>43</i> |
| 2.7.4.6.                | <i>Pruebas de tracción o deformación del bioplástico .....</i>  | <i>45</i> |
| 2.7.4.7.                | <i>Prueba de biodegradabilidad o de compost.....</i>  | <i>45</i> |
| <br><b>CAPÍTULO III</b> |   |           |
| <b>3.</b>               | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>  | <b>48</b> |



|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.1.     | <b>Resultados obtenidos de la aplicación del diseño factorial 2 para determinar el mejor rendimiento del almidón de cáscara de yuca por vía húmeda.....</b> | <b>48</b> |
| 3.2.     | <b>Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del almidón .....</b>   | <b>50</b> |
| 3.3.     | <b>Resultados de la caracterización física, proximal y organoléptica de la materia prima.....</b>   | <b>53</b> |
| 3.4.     | <b>Determinación del tratamiento óptimo según el diseño experimental 2k y evaluación sensorial del bioplástico.....</b>                                     | <b>55</b> |
| 3.5.     | <b>Resultados de la caracterización de bioplásticos: Ensayos físicos, mecánicos y de biodegradabilidad. ....</b>  | <b>58</b> |
| 3.5.1.   | <i>Resultados y discusión del análisis físico del bioplástico .....</i>   | <b>58</b> |
| 3.5.1.1. | <i>Análisis del espesor .....</i>   | 58        |
| 3.5.1.2. | <i>Análisis de la humedad.....</i>  | 59        |
| 3.5.1.3. | <i>Análisis de la determinación de Solubilidad .....</i>  | 60        |
| 3.5.1.4. | <i>Análisis de determinación de permeabilidad al vapor de agua .....</i>  | 61        |
| 3.6.     | <b>Resultados y discusión del ensayo de tracción del bioplástico .....</b>  | <b>62</b> |
| 3.7.     | <b>Resultados para determinar el porcentaje de biodegradabilidad .....</b>  | <b>64</b> |
| 3.8.     | <b>Resultados del análisis del costo de producción del bioplástico. ....</b>  | <b>69</b> |
| 3.8.1.   | <i>Resultados del análisis técnico.....</i>   | 69        |
| 3.8.2.   | <i>Resultados del análisis económico.....</i>   | 70        |
|          | <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>72</b> |
|          | <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>72</b> |
|          | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   |           |
|          | <b>ANEXOS</b>   |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1-1:</b> Clasificación taxonómica de la yuca .....   | 7  |
| <b>Tabla 1-2:</b> Tipos de Yuca Dulce .....   | 8  |
| <b>Tabla 1-3:</b> Tipos de Yuca Amarga.....   | 9  |
| <b>Tabla 1-4:</b> Compuestos de la yuca dulce .....   | 10 |
| <b>Tabla 1-5:</b> Características de los gránulos de almidón obtenidas de varias materias primas.....   | 12 |
| <b>Tabla 1-6:</b> Características y ventajas de los bioplásticos .....  | 21 |
| <b>Tabla 1-7:</b> Aditivos usados para la obtención del polímero biodegradable .....  | 22 |
| <b>Tabla 1-8:</b> Aplicaciones de los plásticos biodegradables.....   | 23 |
| <b>Tabla 2-1:</b> Identificación de variables.....  | 25 |
| <b>Tabla 2-2:</b> Operacionalización de variables en la obtención de almidón de cáscara yuca y en la formulación de bioplástico .....                               | 26 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Matriz de consistencia .....  | 27 |
| <b>Tabla 2-4:</b> Tratamientos a realizarse para la obtención del almidón.....  | 29 |
| <b>Tabla 2-5:</b> Técnica de extracción del almidón de la cáscara de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ) .....  | 31 |
| <b>Tabla 2-6:</b> Técnica para realizar la caracterización del almidón de la cáscara de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ).....                                      | 33 |
| <b>Tabla 2-7:</b> Proceso de obtención del bioplástico de almidón de cáscara de yuca .....  | 41 |
| <b>Tabla 2-8:</b> Valoración sensorial de bioplásticos .....  | 42 |
| <b>Tabla 2-9:</b> Método de la evaluación de la biodegradación del bioplástico .....  | 47 |
| <b>Tabla 3-1:</b> Datos obtenidos de la aplicación del diseño factorial 2K para determinar el mejor rendimiento del almidón de cáscara de yuca por vía húmeda ..... | 49 |
| <b>Tabla 3-2:</b> Análisis de resultados ANOVA para la extracción de almidón .....  | 50 |
| <b>Tabla 3-3:</b> Parámetros analizados del almidón de cáscara de yuca.....   | 50 |
| <b>Tabla 3-4:</b> Resultados de los análisis físicos realizados a la materia prima.....   | 53 |
| <b>Tabla 3-5:</b> Caracterización organoléptica de la cáscara de yuca.....  | 53 |
| <b>Tabla 3-6:</b> Análisis proximal de la cáscara de yuca.....  | 54 |
| <b>Tabla 3-7:</b> Ensayos preliminares para obtener bioplástico a partir de la cáscara de yuca .....  | 56 |
| <b>Tabla 3-8:</b> Formulaciones realizadas basándose en el diseño factorial 2k .....  | 56 |
| <b>Tabla 3-9:</b> Resultados del análisis sensorial de las formulaciones del bioplástico .....  | 57 |
| <b>Tabla 3-10:</b> Resultados del ensayo físico del bioplástico .....   | 58 |
| <b>Tabla 3-11:</b> Resultados de la prueba de tracción del bioplástico .....  | 62 |
| <b>Tabla 3-12:</b> Resultados de la biodegradación de las láminas en agua .....   | 64 |
| <b>Tabla 3-13:</b> Resultados de la biodegradación de las láminas expuestas al aire .....   | 65 |
| <b>Tabla 3-14:</b> Resultados de la biodegradación de las láminas en el suelo.....  | 67 |
| <b>Tabla 3-15:</b> Proyección de producto final obtenido a partir del almidón de residuos de yuca ..  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 3-16:</b> Proyección de almidón tamizado.....   | 69 |
| <b>Tabla 3-17:</b> Análisis económico en relación al beneficio/costo para la producción de 150 láminas de bioplástico a partir del almidón de residuos de yuca ..... | 70 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-1:</b> Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ) .....                                      | 7  |
| <b>Figura 1-2:</b> Molécula de amilosa .....  | 13 |
| <b>Figura 1-3:</b> Molécula de amilopectina .....   | 14 |
| <b>Figura 1-4:</b> Clasificación de los polímeros por su origen .....                           | 18 |
| <b>Figura 2-1:</b> Diseño factorial 2k, para obtención de almidón de cáscara de yuca.....       | 28 |
| <b>Figura 2-2:</b> Diseño factorial 2k, para la obtención de las láminas biodegradables.....    | 29 |
| <b>Figura 2-3:</b> Análisis de levaduras, mohos y coliformes totales .....                      | 37 |
| <b>Figura 2-4:</b> Diagrama de flujo de la caracterización del almidón de cáscara de yuca ..... | 37 |
| <b>Figura 2-5:</b> Cáscara deshidratada de yuca .....   | 38 |
| <b>Figura 2-6:</b> Cáscara de yuca en base seca.....  | 38 |
| <b>Figura 2-7:</b> Cálculo de disminución de áreas en el programa ImageJ .....                  | 46 |
| <b>Figura 3-1:</b> Muestreo de la materia prima (cáscara de yuca blanca) .....                  | 53 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 2-1:</b> Diagrama del proceso de obtención del bioplástico .....                          | 41 |
| <b>Gráfico 2-2:</b> Diagrama de análisis del espesor.....  | 42 |
| <b>Gráfico 3-1:</b> Análisis grafico del espesor del bioplástico de almidón de cáscara de yuca.....  | 58 |
| <b>Gráfico 3-2:</b> Análisis grafico de humedad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca .....  | 59 |
| <b>Gráfico 3-3:</b> Análisis grafico de la solubilidad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca | 60 |
| <b>Gráfico 3-4:</b> Análisis grafico de permeabilidad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca  | 61 |
| <b>Gráfico 3-5:</b> Análisis gráfico de la tracción del bioplástico.....                             | 63 |
| <b>Gráfico 3-6:</b> Resultados de la biodegradación en agua del bioplástico.....                     | 65 |
| <b>Gráfico 3-7:</b> Resultados de la biodegradación en aire del bioplástico .....                    | 66 |
| <b>Gráfico 3-8:</b> Resultados de la biodegradación en el suelo del bioplástico.....                 | 67 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Extracción del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)

**ANEXO B:** Caracterización del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)

**ANEXO C:** Elaboración del bioplástico a partir del almidón de cáscara de yuca

**ANEXO D:** Caracterización del bioplástico a partir del almidón de cáscara de yuca

**ANEXO E:** Informe del porcentaje de amilosa del almidón de residuos de yuca

**ANEXO F:** Informe prueba de probeta del tratamiento 1

**ANEXO G:** Informe prueba de probeta del tratamiento 2

**ANEXO H:** Informe prueba de probeta del tratamiento 3

**ANEXO I:** Informe prueba de probeta del tratamiento 4

**ANEXO J:** Informe del análisis microbiológico del almidón de residuos de yuca

**ANEXO K:** Análisis de los costos directos e indirectos

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo la elaboración de bioplástico a partir del almidón obtenido de los residuos de yuca (*Manihot esculenta*), con el fin de utilizarlos en el recubrimiento de alimentos, lo que ayudará a mantener el buen estado del producto, y también a reducir el impacto de la generación de residuos plásticos convencionales, de tal manera que genere fuentes de trabajo, especialmente en el sector agrícola por la demanda que se puede producir por el uso de la materia prima. Los residuos del tubérculo se obtuvieron de restaurantes de comida costeña y mercados de la ciudad de Riobamba. Se inició con el lavado, pelado y el análisis fisicoquímico y microbiológico de la materia prima, luego se procedió a extraer el almidón, basado en la norma INEN 1456, en donde se manipularon las variables tiempo y velocidad de trituración con la ayuda de un diseño factorial 2k para obtener el mejor tratamiento, el mismo que fue mezclado con plastificante y disolvente en el cuál también se trabajó con el diseño factorial 2k, variando la concentración del almidón y del plastificante con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones cada una, posteriormente las láminas de plástico obtenidas fueron sometidas a ensayos fisicoquímicos y mecánicos, de acuerdo a la norma INEN 2635, los valores obtenidos de degradación del bioplástico en agua fueron del 90 % a los 21 días, en suelo 70% a los 42 días y en aire 40% a los 42 días. Finalmente, para evaluar la factibilidad de la investigación, se analizó el costo de producción del bioplástico de acuerdo con el análisis beneficio/costo, obteniendo una rentabilidad del 21%. Al ser un proyecto viable, se recomienda el uso de residuos orgánicos para la producción de biopolímeros, que contribuyan a disminuir el uso irracional de los plásticos sintéticos.

**Palabras clave:** <YUCA (*Manihot esculenta*)>, <RESIDUO ORGÁNICO>, <FORMULACIONES>, <ALMIDÓN>, <ADITIVOS>, <BIOPLÁSTICO>, <BIODEGRADABILIDAD>, <IMPACTO AMBIENTAL>.

**LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE**  
Firmado digitalmente por  
LEONARDO FABIO MEDINA  
NUSTE  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL  
DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD  
DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE,  
l=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA  
NUSTE  
Fecha: 2021.09.02 15:30:53  
-05'00'



Firmado electrónicamente por:  
**HANNIBAL  
LORENZO BRITO  
MOINA**



1531-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

The aim of the research is to produce bioplastic from starch obtained from cassava (*Manihot esculenta*) residues, in order to use them as food wrapping, this will preserve the product in good conditions and will also reduce the impact caused by the generation of conventional plastic waste, in addition it will generate jobs, especially in the agricultural area due to the demand that can be produced with the use of raw material. The tuber residues were obtained from sea-food restaurants and markets from Riobamba. The starting process was the washing, peeling as well as the physicochemical and microbiological analysis of the raw material; then the starch was extracted based on the INEN 1456 norm, where time and speed variables were used with the help of 2k factorial design to obtain the best treatment, this was mixed with plasticizer and solvent in which the 2k factorial design was also used altering the concentration of starch and plasticizer with four treatments and four repetitions each, then the plastic sheets obtained were put under physicochemical and mechanical tests according to the INEN 2635 norm. The values obtained for bioplastic degradation in water were 90% in 21 days, soil 70% in 42 days and air 40% in 42 days. Finally, to evaluate the research feasibility it was necessary to analyze the bioplastic cost of production according to the cost/benefit analysis obtaining a profitability of 21%. As this is a feasible project, it is recommended to use organic waste for the biopolymers production which helps to reduce the irrational use of synthetic plastics.

**Keywords:** <Cassava (*Manihot esculenta*)>, <ORGANIC WASTE>, <FORMULATIONS>, <STARCH>, <ADDITIVES>, <BIOPLASTIC>, <BIODEGRADABILITY>, <ENVIRONMENTAL IMPACT>.



## INTRODUCCIÓN

Según varias investigaciones realizadas en la actualidad, tanto en el ámbito social, tecnológico y ambiental, se ha determinado que a raíz de la revolución industrial la demanda producida por los plásticos derivados del petróleo creció considerablemente, debido a sus bajos precios y su alta producción en escala industrial (Meneses et al., 2007, p.58). Así se determina mediante valores extraídos de varias fuentes y proyecciones para el consumo de plástico, que a partir del año 1950 hasta el 2016, la producción ha ido aumentando de 1,7 millones a 335 millones de toneladas respetivamente. La industria de los plásticos y su comercialización representan para los negocios manufactureros, ingresos económicos significativos, no obstante su excesivo uso ha generado serios problemas para su apropiada gestión posterior al uso y mitigación de contaminantes. De acuerdo al aporte de Chunchu Guillermo (2020:1A), solo en el territorio de Ecuador existen más de 500 empresas relacionadas a procesos de fabricación de plásticos, pero existe muy poca información de empresas dedicadas a encontrar sustitutos óptimos a los que brindan los plásticos convencionales, limitándose solo mencionar ciertas campañas en los centros comerciales o actualmente en las redes sociales.

La problemática generada por el uso intensivo de los plásticos radica en su baja biodegradabilidad y por ende, en una elevada generación de residuos que por su disposición final genera acumulación en los rellenos sanitarios sumándole a estos un deficiente proceso de reciclaje (Chunchu, 2020:1A). Las fundas plásticas, por sus propiedades constitutivas generan varios problemas ambientales, ya que al poseer bajo peso, tienen facilidad para esparcirse por el viento y agua, llegando a extenderse en varios ecosistemas que según varias fuentes, al año se estima que existe una producción de 6 900 millones de bolsas plásticas y de éstas 30 millones pueden llegar al ambiente, ya que existe una disposición final no controlada, pese a los arduos esfuerzos y mecanismos propuestos para controlar esta problemática. El situación se complica por la resistencia que tienen los polímeros a la descomposición, y dependiendo de su estructura química, estos pueden llegar a tardar desde unos pocos meses hasta más de 500 años, debido a varios factores en especial la acción meteorológica y climática, las fracciones de plástico cada vez se encuentran más pequeñas, llegándose a encontrarlas en el aire, agua y alimentos, además otros estudios realizados en la ciudad de Riobamba, encontraron microplásticos que desprendían en el agua potable del tanque de plástico de reserva, acorde a la edad de su instalación (Chunchu, 2020:1A). Por otro lado, se sabe que los procesos agroindustriales generan residuos que si no se tratan a su debido tiempo, generan varios problemas ambientales. Es por ello, que de acuerdo a investigaciones de Barragan et al., (2008, p.45), indican que la utilización de subproductos agroindustriales tienen repercusión en la preservación de la calidad del ambiente, al considerar el desarrollo de tecnologías encaminadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales (Barragan et al., 2008, p.45).

El Ecuador al encontrarse en un región subtropical de Sudamérica, posee un gran número de recursos naturales agrícolas que son el sustento de la producción alimenticia en nuestro país, inclusive gran parte de estos recursos se exportan a otros países de la región y del mundo entero. Según la publicación de la revista *Lideres* (2018), la producción de yuca es un cultivo originario de América del Sur, y en Ecuador se cultiva en todas las provincias, siendo un sustento fundamental para las familias agricultoras más pobres; así mismo la corteza de yuca es un residuo, que se dispone en gran cantidad en el país, y que muchas de las veces es mal desechado, dejando de aprovechar el gran potencial que se dispone al extraer su almidón, útil para la producción representativa de varios productos de alto valor agregado.

Ante la problemática mencionada, surge como sustituto a los plásticos convencionales los llamados biopolímeros, que poseen propiedades similares a estos, son útiles como material de envase y embalaje, y son elaborados de materias primas naturales procedentes de la zona agropecuaria, que poseen un tiempo de degradación relativamente corto, proporcionando así una producción más rápida y eficiente (Menoscal et al., 2017, pp.1-3). Existe una gran variedad de subproductos provenientes de residuos agrícolas, entre estos tenemos los residuos de yuca, que tienden a ser una materia prima interesante en los procesos de extracción de almidón y elaboración de componentes poliméricos (Muñoz y Riera, 2020, pp.3-4), de esta manera se podrán implantar nuevas líneas de producción, que ayuden a reducir el costo de fabricación y al mismo tiempo a reducir la huella ecológica originada por el plástico común. Además es importante añadir que al implementar recubrimientos naturales en los alimentos, estos nos brindan cierta flexibilidad en cuanto a los componentes que pueden ser mezclados en su elaboración, permitiendo incorporar compuestos activos que beneficien la salud de las personas aportando agentes antioxidantes, vitaminas, minerales y otras sustancias fundamentales para la prevención de enfermedades (León, 2018, p.6).

Mediante el trabajo de investigación “Producción de plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (*Manihot esculenta*)”, se elaboró láminas biodegradables procedentes de los residuos de la yuca, que es un recurso natural renovable, con el fin de minimizar el uso del plástico sintético y de esta manera conservar las propiedades organolépticas de los alimentos, que sean amigables con el planeta y que generen paralelamente una alternativa económica al producir fuentes de empleo que aprovechan los recursos agrícolas de nuestro país (Alarcón et al., 2018, p.23); para la elaboración de este proyecto se inició con la selección de la materia prima y la extracción por vía húmeda, decantación, secado y tamizado del almidón (Brito, 2000, pp.34-38), obteniendo un rendimiento de 28,26% para el mejor tratamiento del diseño factorial  $2^k$ , en el que se consideró las variables tiempo y velocidad de trituración (alta y baja), analizados estadísticamente con la herramienta ANOVA, seguido a esto se realizó la caracterización analítica del almidón y de la materia prima (Brito et al., 2019, pp.202-209), determinando que la mayoría de los valores eran favorables, ya que se encontraban dentro de los

límites de referencia; y por último se elaboraron los biopolímeros de acuerdo a las formulaciones desarrolladas en el diseño factorial  $2^k$  con 4 tratamientos, que combinaron al almidón y aditivos conservantes; mismos que confieren la elasticidad, humectación y resistencia al material e influyen en las propiedades físico-químicas, sensoriales y mecánicas del plástico; eligiendo al tratamiento número 4 como el más idóneo, ya que presenta una temperatura óptima de 74°C, 0,13 mm de espesor, 41,04% de solubilidad, 21,15% de humedad, 0,119% de permeabilidad, 92,46% de elongación y 2,21 MPa de esfuerzo máximo. Con respecto al porcentaje de biodegradabilidad, se necesitó un periodo de 30-42 días para que las láminas se degraden en al menos el 90%, con el fin de garantizar la aceptación óptima de un polímero resistente que puede sustituir a las fundas plásticas sintéticas.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Antecedentes de la investigación

El consumismo de las personas y el mal uso y reciclaje de los recursos derivados del petróleo (productos sintéticos – no biodegradables) han provocado impactos en ecosistemas terrestres y marítimos provocando daños irreparables en la flora y fauna a nivel mundial, este proyecto de investigación pretende reducir la contaminación ambiental mediante el uso de un recurso agrícola biodegradable como es almidón de la corteza de yuca para la producción de bioplástico como aporte al desarrollo sostenible de la vida humana.

Algunos países como Japón, China, Alemania, Francia, Estados Unidos, etc; están a la vanguardia en el desarrollo investigativo de nuevas tecnologías basadas en recursos renovables para convivir en un entorno social amigable y sostenible con el ambiente. Nuestro país durante las dos últimas décadas mediante las universidades han impulsado a los estudiantes de tesis realizar este tipo de proyectos de investigación que son sustentables y muy bien aceptados por la ciudadanía, ya que día a día se evidencia los desastres naturales provocados por la contaminación ambiental, el desarrollo de estos proyectos mediante tecnologías que utilicen recursos renovables en el corto plazo permitirá a los profesionales ser más competitivos en el sector industrial por el gran aporte para el desarrollo socio-económico de nuestro país.

La situación actual del mundo requiere una alta demanda de productos biodegradables, considerando que estos materiales son de consumo responsable y netamente ecológicos, a diferencia de su competencia los plásticos sintéticos, que en desventaja tienen la abrupta contaminación que causan y el incierto futuro de su procedencia, ya que deja de ser rentable a medida que sube el precio del barril del petróleo a consecuencia de su agotamiento.

Para que exista esta demanda, los productos biodegradables deben cumplir las siguientes condiciones:

- Deben alcanzar la totalidad de biodegradación del producto.
- Deben conseguir la aceptación positiva de los consumidores al precio, ya que hasta el día de hoy llegan a ser de 2 a 4 veces mayores que los materiales plásticos convencionales.
- Se deben fabricar bioplásticos a partir de cultivos que no sean destinados para la alimentación humana.

La investigación del presente trabajo se basó en una extensa revisión bibliográfica con fuentes secundarias como son documentos, artículos científicos y tesis relacionadas a la obtención de bioplásticos a partir de materias primas vegetales, que presenten características iguales o semejantes a sus homólogos los polímeros sintéticos, algunas de las investigaciones que se tomaron como referencia se resumen a continuación:

Diana Paola Navia Porras y Nathalia Bejarano Arana, en su trabajo de tesis estudian la conducta de las propiedades mecánicas, entre las cuales se encuentran la densidad y el color de los bioplásticos elaborados con almidón de yuca variedad MPER-183, estos se gelatinizaron y fueron reforzados con fibra de fique para obtener ventajas frente a los productos que son elaborados con recursos no renovables. Se concluyó de este estudio que estos factores afectaron de manera muy significativa las propiedades mecánicas, debido a la temperatura y presión compresora. Se determinó que a 180 °C y presión de 0 psi fueron las más favorables para obtener valores elevados de esfuerzo de flexión, baja densidad y modulo elástico de flexión y a temperatura de 190°C y presión de 0 psi, se obtienen valores elevados de esfuerzo de tensión y modulo elástico de tensión (Navia y Bejarano, 2014, pp.40-48).

Iván Fernando Huacho Chávez, Adriana Isabel Rodríguez Basantes y Hanníbal Lorenzo Brito Moína en su investigación "*Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot Esculenta Crantz)*", utiliza al tubérculo, para identificar la composición ideal en la síntesis de un material biodegradable mediante un diseño del análisis factorial  $2^k$ , para obtener almidón que tuvo un rendimiento de 22,3%, además se ejecutó un análisis organoléptico, físico, químico y microbiológico, tanto para el almidón obtenido como para las láminas de polímero biodegradable a base del almidón con sus respectivas formulaciones, determinando que el material cumple con las normas de calidad y es amigable con el ambiente por su fácil y rápida descomposición en el ecosistema (Brito et al., 2021, pp.216-232).

Según (Valarezo, 2012, pp.3-4), en su investigación "*Desarrollo de polímeros a partir de almidón de corteza de yuca (Manihot esculenta)*", elaboró un polímero biodegradable de almidón de yuca y en este estudio se utilizó una mezcla de 6,31% glicerina, 74,08% agua, 0,25% ácido acético, obteniendo un polímero resistente, flexible y elástico, con una densidad de 6,44g/cm<sup>3</sup> y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua, en una temperatura de 69 °C y humedad de 9,97% y 11,58%.

Según (Ramos Meza, 2016, p.12) en su tesis "*Elaboración de bioplástico a partir de almidón de residuos obtenidos de peladores de papa y determinación de su biodegradabilidad en el laboratorio*", que pretende elaborar un bioplástico a partir de residuos de la papa variedad 'Yungay' y valorar biodegradabilidad según la norma ISO 17556:2012, para esto se utilizó 5 mL de glicerina, 3 mL ácido acético, 10 g de almidón de papa y 60 mL agua a 150°C. Teniendo como resultados: el bioplástico

más resistente con un 1,47 MPa y una elongación máxima de 19,99%, y la biodegradabilidad aeróbica presentó un alto nivel de degradación alcanzando el 64,21% en un tiempo de 92 días.

Sofía Briones Muñoz y María Antonieta Riera en su artículo científico “ *Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos*”, caracterizaron los subproductos de cáscara de yuca y cera de abeja, con el fin de elaborar bioplásticos a partir de estas. En este estudio se evaluó la hidrólisis ácida y alcalina obtenida en el almidón de las materias primas empleadas, a partir de la formación de azúcares reductores totales, obteniendo que mejores resultados de los azúcares reductores totales fueron para la hidrólisis alcalina del residuo de la cera de abeja seguido de la cáscara de yuca, que adquirió los mejores sustratos para obtener procesos fermentativos precursores de los bioplásticos (Muñoz y Riera, 2020, pp.3-11).

En la investigación de (Chinchayhuara et al., 2018, p.8), se elaboraron bioplásticos derivados de la cáscara de plátano y mango como matriz, empleando los reactivos que fueron el ácido acético, glicerina vegetal, agua y cáscara de plátano o mango según sea el caso, luego se licuó para obtener una mezcla homogénea y se los secó al ambiente en condiciones favorables. Finalmente, el bioplástico obtenido de cáscara de plátano tuvo una biodegradabilidad de 0,009g durante dos semanas, una densidad de 0,6049 (g/cm<sup>3</sup>), un peso de 1,2098 g y el bioplástico de cáscara de mango tuvo un peso de 0,5510 g, una biodegradabilidad de 0,001g analizada por dos semanas, y una densidad de 0,2752 (g/cm<sup>3</sup>), cabe añadir que en ambos casos el polímero resultó ser flexible.

## 1.2 Marco teórico

### 1.1.1. Producción agrícola del Ecuador

La producción agrícola del Ecuador es uno de los sustentos alimenticios fundamentales en la economía nacional, por lo que es de vital importancia su mantenimiento a lo largo de los años. Se sabe que tan solo en el 2017 se llegaron a ocupar 2.334.721 hectáreas de suelo que variaban entre diferentes tipos cultivos en los que se tiene a los transitorios, los permanentes y por último a los barbechos.

Entre los principales tipos de cultivos que se dan el país se tiene al banano, cacao, trigo, maíz, yuca, palma africana, cana de azúcar, café, choclo y frejol ocupando 1.737.517 hectáreas, y produciendo en total 21.178.970 toneladas. Por otro lado uno de los rubros más importantes que tiene el país, es la producción de camarón, ya que reportó necesario 207 mil hectáreas para llevar a cabo esta actividad, y de esto se generó 1.434.432 dólares solo por la producción y 3.202.811 aparte por el procesamiento. La industria busca hoy en día, que la producción sea sustentable de manera que se pueda tomar provecho de los residuos que se generan con el fin de establecer otras medidas que ayuden a crear productos que contengan alto valor agregado e introducirlas en la cadena de producción.

Mediante otras aplicaciones para aprovechar los subproductos o residuos agrícolas, se ha venido fabricando bioplásticos que son materiales que provienen de fuentes de origen natural y que ayudan a remplazar a los polímeros no degradables provenientes de hidrocarburos. Además, según otras fuentes es posible utilizar a los residuos alimentarios de la agricultura en los que se incluyen los derivados de celulosa, con el fin de reemplazar de manera acertada a los polímeros convencionales de lenta biodegradación, por otros que tenga mayor tasa de degradación natural. Se debe añadir que en todo el territorio ecuatoriano se produce 6.660.820 Tn/año de residuos agrícolas, por lo que la idea de la fabricación de bioplásticos resulta muy atractiva para darle uso a los subproductos generados a partir de la agricultura (Riera y Palma, 2018, p.11).

#### 1.1.1.1. Yuca

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*), es un tipo de arbusto leñoso de tamaño variable, nativa de Latinoamérica, también es conocida por el nombre de tapioca, casava, manioca o mandioca. Pueden encontrarse con 5 a 10 cm de diámetro si se los mide en la parte superior y de 15 a 30 cm de largo en su alrededor. Una hectárea de cultivos de yuca puede proveer unas 25 toneladas en promedio de raíces frescas. Es cultivada por sus raíces amiláceas, pero su corteza es objeto de utilización de alimento

animal en algunas de las regiones productoras. En el continente africano, las hojas de yuca son empleadas como fuente alimenticia para consumo humano (Buitrago, 1990, pp.25-27).



**Figura 1-1.** Yuca (*Manihot esculenta*)

**Fuente:** Chimbo Valeria, 2021.

Las raíces así como el follaje son productos primarios de la yuca que se pueden emplear como alimento tanto para humanos como animales. Los productos y subproductos de la yuca, son energéticos debido a su almidón y su bajo nivel de proteína. La yuca se destaca como uno de los nutrimentos más importantes de las raciones alimenticias para animales (Buitrago, 1990, p.33).

**Tabla 1-1.** Clasificación taxonómica de la yuca

| No. | CARACTERÍSTICAS |                                 |
|-----|-----------------|---------------------------------|
| 1   | REINO           | Plantae                         |
| 2   | DIVISIÓN        | Magnoliophyta                   |
| 3   | SUBDIVISIÓN     | Angiospermae                    |
| 4   | CLASE           | Magnoliopsida                   |
| 5   | ORDEN           | Euphorbiales                    |
| 6   | FAMILIA         | Euphorbiaceae                   |
| 7   | SUBFAMILIA      | Crotonoideae                    |
| 8   | TRIBU           | Manihoteae                      |
| 9   | GÉNERO          | Manihot                         |
| 10  | ESPECIE         | <i>Manihot esculenta</i> Krantz |

**Fuente:** (Pérez y Rodríguez, 2018, p.41).

### 1.1.1.2. Generalidades

El cultivo de yuca se presenta actualmente como una alternativa con ventajas comparativas para el Ecuador, debido a su adaptabilidad para cultivarse a las diversas condiciones climáticas del país (Pérez y Rodríguez, 2018, p.41). Por otra parte, la parte aérea es la porción que se divide en hojas y tallo (lámina foliar y pecíolo) y es fuente de pigmentos, fibra y proteína (Gil, 2015, p.19).



Según (Giraldo et al., 2019, p.12), la yuca es un cultivo que se adapta fácilmente, ya que se siembra hasta los 1800 msnm, entre 20 y 30 °C, una humedad relativa entre 50-90 % y una precipitación anual que va desde los 600 y 3 000.

La raíz es la parte de la yuca más utilizada a escala de comercio, son fuente de carbohidrato que aporta energía que proviene del almidón. Según la descripción de (Velasategui, 1992, p.640), nos indica que “la raíz del tubérculo de yuca esta compuesta especialmente de 3 tejidos que son: el periderma o también conocido como cascarilla, el parénquima cortical o corteza y por último el parénquima interior que es la pulpa. La cáscara está constituida por la cascarilla que son las células muertas que cubren la superficie de la raíz y son de color café con una superficie lisa o si es el caso rugosa. Después de la cascarilla o periderma le sigue la corteza que tiene un espesor de 1 a 2 mm y se lo puede encontrar de distintos colores (rosa, crema o blanca), cabe añadir que en esta capa se localizan comprimidos los tejidos del floema que contienen a los glucósidos cianogénicos, causantes de la toxicidad del tubérculo gracias al ácido cianhídrico que produce. Por último, se encuentra la pulpa que es el fruto que posee abundantes nutrientes, y está compuesto del floema y xilema.

Por otro lado según (Buitrago, 1990, p.51), la composición de la cáscara de yuca es muy particular, ya que en base seca, otorga valores energéticos de 2,20 kcal/kg, con niveles elevados de fibra con 14% y con 5,3% de proteína, bajos niveles de aminoácidos azufrados en los que se encuentran la lisina con 0,1% y la metionina-cistina con 0,06% y otros los valores proporcionados de fósforo y calcio que son de 0,30 y 0,90% respectivamente. Por otro lado, se sabe que los residuos de yuca llegan a representar entre el 15-20% del peso total del tubérculo, y poseen mayor proporción de grasas, minerales, fibra y proteína en su composición a comparación de la pulpa.

### 1.1.1.3. Tipos de yuca

- Yucas Dulces

La producción óptima se da a los seis meses, sin embargo existen cultivos que pueden llegar a tardar 1 año en salir. En el Cuadro 2-1, que se encuentra a continuación se detalla las diferentes yucas dulces:

**Tabla 1-2.**Tipos de Yuca Dulce

| No. | Nombre de la Yuca | Descripción   |
|-----|-------------------|---|
| 1   | Manihot, mandioca | Las raíces son café claro y el tubérculo es amarillo. Es una planta de 2,5 metros de altura. El tallo es verde oscuro. Las hojas jóvenes son verde claro y cambian a verde oscuro cuando son adultas.                   |
| 2   | Pájaro Aúma       | Las raíces son café claro y el tubérculo es blanco con un poco de rosado. Es una planta que alcanza entre 2,5 y 3 metros de altura, a manera compacta o de sombrilla. El tallo puede ser verde amarillo o verde oscuro, |

|   |                        |   |
|---|------------------------|---|
|   |                        | con coloración rojiza. Las hojas jóvenes son verde morado y cambian a verde oscuro ya adultas.  |
| 3 | Pibicho, Piwicho, Loro | Las raíces son café claro u oscuro y el tubérculo es amarillo pálido. Es una planta de 2,5 metros de altura, a manera de sombrilla. El tallo es verde amarillo o verde oscuro, con coloración rojiza. Las hojas jóvenes son verde claro a verde morado y cambian a color verde oscuro ya adultas.             |
| 4 | Chawapui               | Las raíces son café claro y el tubérculo es blanco. Es una planta que alcanza 2,6 metros de altura. El tallo es verde oscuro, sin coloración rojiza. Las hojas jóvenes son verde claro y cambian a verde oscuro ya adultas.   |
| 5 | Piñero                 | Las raíces son café claro con corteza morada y el tubérculo es amarillo. Es una planta que alcanza hasta 4,5 metros de altura, a manera abierta o sombrilla. El tallo es claro o verde amarillo, sin coloración rojiza. Las hojas jóvenes son verde morado o verde claro y cambian a verde oscuro ya adultas. |

**Fuente:** (García et al., 2005, p.42).

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

○ Yucas Amargas y/o Bravas

Las yucas amargas o bravas reciben también el nombre de mandiocas, owas o yucas amarillas. El conocimiento de esta clasificación es bajo si se lo compara con el conocimiento y manejo que existe para las yucas dulces (García et al., 2005, p.44).

**Tabla 1-3.** Tipos de Yuca Amarga

| No. | Nombre de la Yuca | Descripción  |
|-----|-------------------|--|
| 1   | Arení, Tresmesina | Las raíces son café claro y tiene tubérculo amarillo. Es una planta que tiene 2,5 metros de altura, a manera abierta. El tallo es verde oscuro, con tono rojizo medio. Las hojas jóvenes son verde morado y cambian a verde oscuro cuando son adultas.   |
| 2   | Carai             | Las raíces son de color café claro con cáscara de color rojo y el tubérculo es blanco rojizo. Es una planta que puede llegar a alcanzar los 2,5 metros de altura, a manera abierta. El tallo es verde amarillo, sin tono rojizo. Las hojas jóvenes son verde claro y pueden cambiar a verde oscuro cuando llegan a la madurez. |
| 3   | Ucayali           | Las raíces son café claro y su tubérculo es amarillo. Es una planta que alcanza 3 metros de altura, a manera abierta. El tallo es de color verde claro, y no presenta coloración rojiza. Las hojas jóvenes presentan una coloración verde claro y cambian a verde oscuro cuando son ya adultas.                                |
| 4   | Pagoa             | Las raíces son café oscuro y el tubérculo presenta una coloración amarillo pálido. Es una planta que alcanza 3 metros de altura, a manera abierta. El tallo es verde oscuro, sin tono rojizo. Las hojas jóvenes son verde claro y cambian a verde oscuro ya adultas.   |
| 5   | Yuca de los Lagos | Las raíces son café oscuro y el tubérculo es amarillo. Es una planta que mide 3,5 metros de altura, a manera abierta. El tallo es verde oscuro, con mucho tono rojizo. Las hojas jóvenes son verde morado y cambian a verde oscuro ya adultas.   |

**Fuente:** (García et al., 2005, p.44).

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

#### 1.1.1.4. Composición de la yuca dulce

La yuca dulce a nivel nutricional ofrece un gran beneficio y aporte. Su composición posee agua, fibra e hidratos de carbono, y aunque no tiene una gran cantidad de micronutrientes, posee vitamina C, vitamina B1 y potasio. Cada 100 gramos de yuca cultivados se otorga los siguientes valores nutricionales, esto según lo predispuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos:

**Tabla 1-4.** Compuestos de la yuca dulce

| No. | Compuestos                  |
|-----|-----------------------------|
| 1   | Energía: 160 cal            |
| 2   | Proteínas: 3,2 g            |
| 3   | Grasas: 0,4 g               |
| 4   | Hidratos de carbono: 26,9 g |
| 5   | Fibra: 1,8 g                |
| 6   | Vitamina C: 34% de cdr*     |
| 7   | Vitamina B1: 6% de cdr*     |
| 8   | Potasio: un 8% de cdr*      |

\*cantidad diaria recomendada

**Fuente:** (Gómez, 2020: 1A).

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

La yuca en algunas poblaciones determinadas, es una fuente principal rica en minerales como son el calcio y el potasio, aportando varios tipos de vitaminas entre las cuales están la B1, B2, B5, C, además de aportar buena cantidad de energía y un elevado contenido en agua, pese a esto, si se lo compara con otros valores nutricionales de alimentos, la yuca posee en su composición valores bajos en vitaminas, proteínas, nutrientes y minerales.

Además de estos aportes, en la composición de la yuca se incluye al almidón, que es una macromolécula compuesta de polímeros de reserva, que le confieren a esta ser alimento saludable. Contribuye a mejorar la salud del intestino, debido a sus efectos en la microbiota, lo que también en una mejora para el sistema inmunológico. El almidón sirve de soporte al metabolismo y disminuye la glucosa en la sangre, de manera que reduce significativamente el apetito, que es conveniente cuando se desea adelgazar y controlar el peso (Gómez, 2020: 1A).

#### *1.1.1.5. Utilización de la Yuca Dulce*

- La yuca en la sociedad

La yuca es considerada como una de las plantas de mayor interés económico a referencia de tubérculos y raíces. Tiene varias aplicaciones considerables en la alimentación animal y humana. Este insumo se direcciona a cuatro sectores del mercado: procesadas para consumo humano, en la industria alimenticia para producir harina seca, como materia prima para la alimentación de animales y como precursor en la producción de almidón utilizado en la industria textil, fabricación de papel, adhesivos, etc (Knowles et al, 2018, p.13).

- Uso Industrial de la Yuca

Una de las aplicaciones industriales más conocidas de la yuca se dirige a la producción de almidón, pegamento, base de tinta, producción de alimentos para humanos y animales; siendo esta última muy reciente. Europa introdujo este uso para remplazar a los cereales; sin embargo, en muchas fincas y comunidades, ya lo habían aplicado hace muchos años. El secado de yuca es sencillo: primero se realiza una recolección de los tubérculos, se les da una limpieza profunda y por último se los cortan en trozos exponiéndolos al sol en terrazas amplias (Taraza, 2008). La solidez y elasticidad, asimismo como la alta estabilidad a la congelación y helamiento de los almidones de yuca, indican que podrían emplearse como agentes estabilizantes en sistemas de alimentación que necesiten ser refrigerados y congelados.

#### *1.1.2. Almidón*

El almidón cuenta con una gran contribución de hidratos de carbono cuyo aspecto es polvoso, se lo puede conseguir de varias materias primas como los granos, los tubérculos, las semillas e inclusive de las cáscaras; la producción se la puede ejecutar de varias maneras al ser estrechamente versátil; esta cuenta con un bajo precio de elaboración, y lo más importante es que se lo emplea como sustituto de plásticos basados en petroquímica y derivados. El almidón con un alto contenido de porcentaje amilosa produce películas fuertes, resistentes y es adecuado para la elaboración de plásticos biodegradables, y el almidón de gránulos pequeños es un relleno de película de polietileno adecuado (Penaranda et al., 2008, pp.47-52). Según (Hernández, 2013, p.11), el comportamiento del almidón, se influencia por la relación existente entre el contenido de amilosa que va de un rango de 20% a 39% y la

amilopectina de 61% a 80%, además nos indica que las proporciones funcionales y constituyentes moleculares principales del gránulo que desarrolla la planta tienen influencia en algunas propiedades como: claridad, retrogradación, viscosidad, capacidad de formación de gel, temperatura, corte, estabilidad ácida, capacidad de formación de películas, entre otras.

**Tabla 1-5.** Características de los gránulos de almidón obtenidas de varias materias primas

| No.   | Producto | Almidón % | Tipo      | Diámetro del gránulo, um | Forma    |
|---|----------|-----------|-----------|--------------------------|----------|
| 1   | Maíz     | 71        | Cereal    | 3-26                     | Rd,P*    |
| 2   | Papa     | 82        | Tubérculo | 5-100                    | Ov,E**   |
| 3   | Yuca     | 77        | Raíz      | 4-35                     | Ov,E***  |
| 4   | Arroz    | 89        | Cereal    | 3-8                      | Rd,D**** |
| *Rd,P: redondo, poligonal<br>**Ov,E: Oval, esférico<br>***Ov,E: Oval, esférico<br>****Rd,O: redondo, oval |          |           |           |                          |          |

**Fuente:** (Menoscal et al., 2017, pp.1-3).

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

El almidón se encuentra formado por amilosa y amilopectina molecularmente, los cuales se separan por fraccionamiento y su porcentaje depende principalmente de su origen vegetal. Sin embargo, es posible encontrar composiciones modificadas gracias a los avances en biotecnología vegetal. La digestión del almidón se encuentra influida por amilasas, dextrinasas y disacaridasas las cuales intervienen con la hidrolización del almidón ( León Virgüez, 2018, pp.8-13).

Al comparar los almidones obtenidos de cereales y de tubérculos se llega a la conclusión que el almidón de tubérculos es más resistente a la hidrólisis enzimática y esto se da por:

- Su gran contenido de residuos fosfato.
- Su diferente estructura cristalina

Hay dos maneras para la obtención de almidón, que son mediante el método seco y mediante el método húmedo.

- **Método seco:** Consiste en moler un fruto, grano o semilla, previamente secado, obteniendo harina, la cual al ser tamizada permite obtener el almidón (Brito, 2001).
- **Método húmedo:** Básicamente consiste en remojar la semilla, o grano a utilizarse el cual cumple con un tiempo específico; se elimina el agua por decantación, lavando el material sedimentado

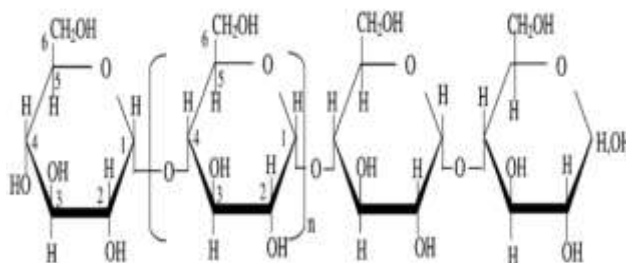
para la obtención del almidón, luego de secarlo, ya sea por vía natural o por secado en equipos (Maulida et al, 2016).

### 1.1.2.1. Almidón de yuca

El almidón de yuca llega a clasificarse como almidón agrio y almidón nativo (dulce). El almidón agrio experimenta una fermentación que le otorga propiedades de gran beneficio para los alimentos; en cambio el nativo o dulce no es llevado a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria. Entre sus generalidades, el almidón de yuca posee un tamaño que va de 5  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ , puede ser redonda y achatada en su forma y el porcentaje de amilosa se encuentra alrededor del 17% (Meneses et al., 2007). Se sabe que el 10% de la producción mundial de almidón proviene de la yuca, y se lo distingue por contener mayor contenido de almidón por peso seco que otros alimentos en los que están incluidos los cereales.

### 1.1.2.2. Amilosa

La amilosa es un polímero que posee una estructura lineal y puede llegar a tener 6000 unidades de D-glucosa con un enlace  $\alpha$ -1,4 glucosídicos; aunque algunas moléculas muestran ramificaciones de 3 a 20 cadenas de glucosa  $\alpha$ -1,6 (0,3 – 0,5 %) (Mendoza et al., 2017). Similar a ciertos cereales, la mayor proporción de almidón corresponde a amilopectina y la mínima hacia la amilosa. La yuca muestra un contenido de amilosa en sus estructura que puede variar de 14% a 19% (Knowles et al, 2018, p.20). Si los almidones son ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldean y gelifican, en cambio si los almidones no contienen amilosa; estos espesan, pero por lo tanto no gelifican. Además, se sabe que el polímero amilosa en el gránulo de almidón al ser una macromolécula llega a conformar hasta una cuarta parte de su composición.

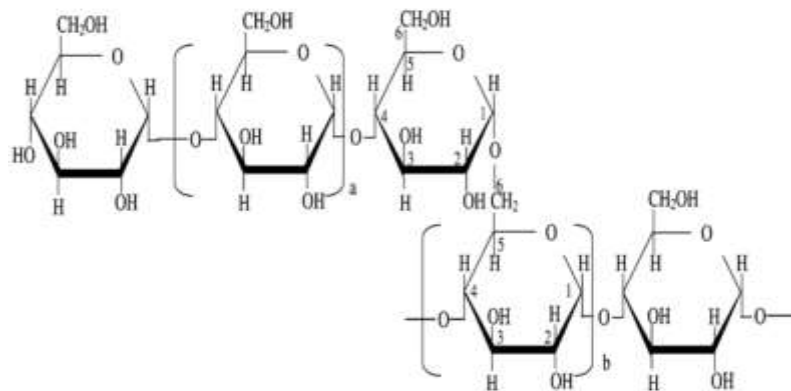


**Figura 1-2.** Molécula de amilosa

Fuente: (León Virgüez, 2018, p.11).

### 1.1.2.3. Amilopectina

El contenido de amilopectina constituye generalmente entre 70 y 75% de los almidones, y está formado por cadenas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1,4) glucosídicos. En cuanto a su estructura, tiene una apariencia ramificada semejándola a la de un árbol, que consiste en cadenas cortas de amilosa, localizadas cada 25 – 30 unidades de glucosa y conectadas con enlaces  $\alpha$ -D- (1,6) (Mendoza et al, 2017). Las ramificaciones contribuyen que la amilopectina sea menos soluble en agua caliente que la amilosa y que tengan un peso molecular alto de hasta 200 millones de dáltones (de Tasso, 2014).



**Figura 1-3.** Molécula de amilopectina

Fuente: (León Virgüez, 2018, p.11).

### 1.1.2.4. Obtención del Almidón

La calidad del almidón tiene relación referente al producto final. Puede decirse que mientras mas metódico y transparente es el procedimiento de elaboración del almidón, su valor es más elevado, ampliando su utilización en cualquier (Cobana, 2007, p.8).

El procedimiento popular de extracción del almidón consiste fundamentalmente en quebrantar las paredes celulares para liberar los gránulos de almidón al momento de rallarlo, luego se procede a adicionar el contenido de agua y destilarlo, para que se separen las partículas suspendidas de almidón del medio líquido de las relativamente más grandes, entre las que se encuentran la fibra, posterior a esto se escurre el agua y se elimina cualquier fracción extraña al material sedimentado que pueda modificar al almidón y finalmente se lo somete a una deshidratación (Cobana, 2007, p.8).

En la obtención del almidón se involucran varias operaciones preliminares, las cuales ayudan a tener un almidón de buena calidad, destacando que hay varios procesos para su extracción, a continuación,

se enumera las operaciones utilizadas en el método húmedo según la metodología de (Maulida et al, 2016):

- **Limpieza y Selección:** Consiste en separar sustancias contaminantes e impurezas, haciéndolo físicamente, analizando factores de color, tamaño, forma, etc, para obtener una materia prima de buena calidad.
- **Lavado:** se lo realiza por flotación, respetando la diferencia de densidad, lo que hace que se eliminen de esta manera las partículas externas, asegurándose que la materia prima se mantenga completamente limpia.
- **Remojo:** con esta operación se consigue que las semillas o granos a ser utilizados como materia prima que sean secos, logren la germinación, captando de esta manera el agua, lo que facilita el ablandamiento y separación del embrión con el endospermo.
- **Triturado:** operación elemental, que se encarga de reducir el tamaño de la muestra, lo que proporciona una mejor manipulación y permite alcanzar las propiedades de la materia prima, es así que, mediante proceso de el triturado, se trocean los granos y al mezclarse con agua se queda el almidón suspendido en esta mezcla (Brito, 2001).
- **Filtrado:** separa los fluidos de sólidos, mediante la cual, las partículas en suspensión se quedan en el material filtrante que se utilice y el líquido pase (Brito, 2001).
- **Secado:** esta operación permite eliminar la humedad de la muestra, lo cual ayuda a conservar la materia extraída, ya que el agua puede afectar causando proliferación bacteriana. Esta operación se la hace de dos maneras, la primera es de manera natural la cual se da al contacto con el viento o el sol, y la segunda que es la artificial y se da al ingresar las muestras a equipos que eliminan la humedad en menor tiempo, teniendo de este tipo el secador de lecho fluidizado, horno, entre otros (Brito, 2001).
- **Molienda:** reduce el tamaño de las partículas obtenidas, haciéndolas mucho más finas, esta operación se la realiza únicamente en materias sólidas, teniendo como objetivo la producción de un polvo fino.
- **Tamizado:** es fundamental en la obtención del almidón ya que separa las moléculas por tamaños, con una clasificación implacable, pasando solo almidón y quedándose materia contaminante, separando la harina, el azúcar, impurezas, entre otros (Brito, 2001).



### *1.1.2.5. Propiedades del almidón*

Según la investigación de (González et al, 2020, p.16) entre las principales propiedades del almidón se encuentran: la desestructuración, gelatinización, retrogradación y biodegradación; gracias a la capacidad de gelatinización que tiene el almidón, le permita moldear y formar películas, y puede utilizarse ya sea en su forma nativa o en su forma modificada, permitiéndole mejorar la adhesión y a la vez adquirir mayor resistencia a la reducción de la viscosidad por la agregación de ácidos, temperatura y acción mecánica.

#### ○ Gelatinización

La amilosa y amilopectina se encuentran empaquetadas dentro de los gránulos de almidón, cuando los gránulos son calentados en presencia de agua y condiciones controladas, se hinchan y comienzan un proceso en el que la estructura laminar y el ordenamiento molecular se pierden con un consecuente aumento de viscosidad, este proceso se conoce como gelatinización y obedece a un cambio de fase en la cual pierden sus propiedades brindándole una estructura semicristalina y se constituye un gel. La temperatura a la cual se inician estos cambios en el almidón se conoce como temperatura de gelatinización y dependiendo del origen del carbohidrato varía entre 60 y 70°C normalmente (León Virgüez, 2018, p.3).

#### ○ Desestructuración

Se refiere a la transformación de los gránulos del almidón encontrados en la matriz del polímero, y agregando el quebramiento de los puentes de hidrógeno localizados en las moléculas y la despolimerización parcial de poseen las moléculas (Meneses et al., 2007, p.16).

#### ○ Biodegradación

Se refiere a la transformación de los compuestos contaminantes orgánicos en compuestos con menor amenazas, esto gracias a la facultad metabólica que tienen los microorganismos al permitir el anexo de estos a los ciclos biogeoquímicos naturales (González et al., 2020, p.17).

- Retrogradación

Según (Meneses et al, 2007, p.32) se hace referencia a la reorganización y reorientación de los puentes de hidrógeno y cadenas moleculares respectivamente. Al existir un aumento en la turbiedad y una reducción a la solubilidad en el agua, posterior a la gelatinización, se deja de introducir calor que da inicio a la fase de enfriamiento, aumentando de nuevo la viscosidad, y formándose el fenómeno llamado retrogradación.

### ***1.1.3. Polímeros***

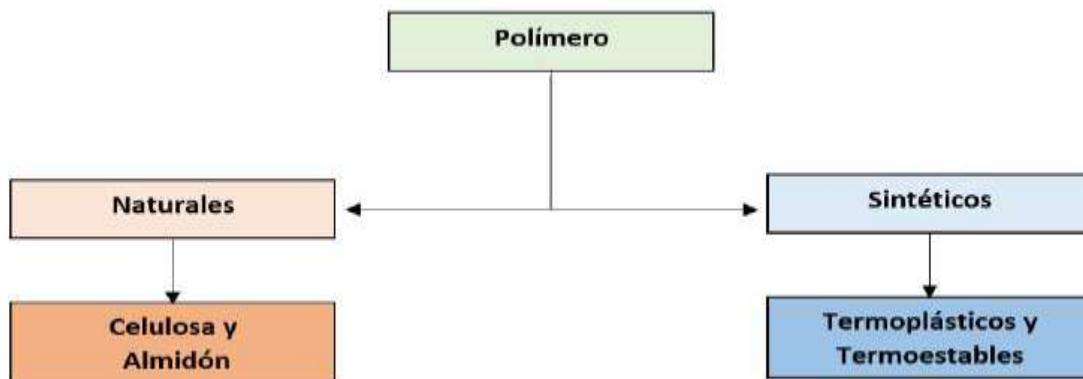
Según (Rosales, 2016, p.29), un polímero es una macromolécula constituida por una o varias unidades llamados monómeros repetidos a lo largo de una cadena, y que se encuentran anexados por enlaces covalentes que se forman por reacciones de polimerización.

El significado de polímero se origina de la palabra griega polys (muchos) y meros (parte), y abarca a la mayoría de las sustancias orgánicas y materiales sintéticos como son: la quitina, las proteínas, la madera, el caucho, las resinas, el vidrio, la porcelana, adhesivos, plásticos y fibras que poseen una estructura interna similar.

#### ***1.1.3.1. Clasificación de los polímeros***

Los polímeros se llegan a clasificar según su origen o procedencia, aplicación, estructura, tipo de polimerización, comportamiento, composición química, sin ser excluyentes entre ellas. En los procesos manufactureros existen diferentes formas de llamar a los polímeros entre estos tenemos a: plásticos, elastómeros, resinas, pegamentos y hules (Rosales, 2016, p.29). Para los plásticos se aplica a materiales que son comerciales con aditivos que mejoran las propiedades como son (PE, PVC, ES, etc.), excepto la fibras que confieren propiedades de rigidez al encontrarse al ambiente, en el caso de las resinas se aplica a cualquier material polimérico puro, que no contiene aditivos o cargas; y para los dos restantes se aplican a materiales que tienen flexibilidad y elasticidad a temperatura ambiente. Los polímeros se clasifican según su procedencia en polímeros sintéticos y naturales. De acuerdo a sus propiedades, aplicaciones y características físico-químicas, se clasifican o subdividen en otras más específicas de acuerdo a (Rosales, 2016, p.29).

La clasificación se resume en la figura de a continuación:



**Figura 1-4.** Clasificación de los polímeros por su origen

Fuente: (Rosales, 2016, p.31).

Para el caso de los polímeros naturales, estos son degradables, como por ejemplo, el almidón que confiere propiedades mecánicas y de barrera, siendo de gran interés en los últimos años gracias a sus características termoplásticas (Rosales, 2016, p.31).

### 1.1.3.2. *Polímeros sintéticos*

Los productos obtenidos a partir de sustancias de origen vegetal y mineral se conocen comúnmente como plásticos, estos son de gran utilidad en varias de las actividades diarias realizadas por parte de las personas, muchas aplicaciones como preservación y conservación de alimentos han utilizado en forma directa se usan como embalajes, envases y empaques. Las materias primas para la producción de plástico se denomina monómero, este recurso básico es sometido a reacciones específicas químicas como polimerización, policondensación y poliadición en condiciones o medios particulares. La distribución y comercialización de estos productos corresponde a la elaboración de polvos y líquidos sintéticos, que luego son procesados a otro tipo de productos intermedios como películas, láminas, tubos, etc. o materiales con acabados finales como bolsas, envases, botellas, entre otros.

La mezcla de polímeros sintéticos con ciertos aditivos utilizados por cada productor constituyen las resinas termoplásticas o termoestables, productos donde la temperatura juega un papel primordial, los termoplásticos son materiales que pueden pasar de un estado líquido al calentarse y volver a un estado sólido al endurecer o ser enfriados, y los termoestables, materiales que al cambio de temperatura sufre una descomposición química es decir puede quemarse.

- Tipos de plásticos sintéticos:
  - **Termoplásticos:** “se los conoce como polímeros rectos, los cuales pueden presentar ramificaciones, como no las pueden tener, además de que son solubles con algunos compuestos orgánicos, y al tener la capacidad de ser fundidos, se los puede reciclar”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Plásticos ingenieriles:** “presenta propiedades mecánicas buenas, tienen baja densidad, además presenta buena resistencia a los líquidos, ya que no se corroen, y su campo de competencia son los metales, y finalmente tienen buen procesamiento”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Termoestables:** “este tipo de plástico no se puede fundir, por lo tanto, no es reciclable, y tampoco se lo considera soluble; su principal aplicación es la de trabajar a elevadas temperaturas, cuentan con buena rigidez, dureza y resistencia, su tiempo de transformación es muy lento, presentando colores opacos”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Elastómeros:** “presentan gran flexibilidad, son capaces de sufrir deformaciones, su procesamiento es muy lento, por lo que no son reciclables”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Plásticos compuestos:** “presentan buenas propiedades mecánicas, con una gran resistencia, su procesamiento, es muy demorado, no es reciclable y su producción es costosa”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Plásticos espumados:** “presentan gran organización celular, ayudan controlando la conductividad térmica y presentan una gran resistencia”(Szymański, 1997, pp.42-57).
  - **Cristales líquidos:** se los conoce como termoplásticos cuyo origen se basa en los “poliésteres aromáticos”, confiere buenas propiedades mecánicas y térmicas y son muy utilizados en dispositivos de visualización gráfica (Szymański, 1997, pp.42-57).

### *1.1.3.3. Biopolímeros o Bioplásticos*

Son aquellos polímeros que se sintetizan a partir a partir de monómeros biológicos renovables o una base biológica, cuya estructura química otorga la capacidad de degradación por organismos microscópicos entre los que se encuentran las bacterias, hongos, algas, entre otros, considerándose de esta forma materiales prometedores en la tecnología orientada para contrarrestar el impacto ambiental (González et al., 2020, p.15).

Según (González et al., 2020, p.15) los polímeros biodegradables tienen la capacidad de reducir en un 30% a 70% los impactos generados por los gases que provocan el CO<sub>2</sub>, y se los puede identificar guiándose de su procedencia, en este caso se desarrollan a partir de fuentes naturales y no de otras fuentes

derivadas de hidrocarburos que colaboran en la contaminación a causa del consumo desenfrenado de materiales sintéticos.

○ Clasificación de los bioplásticos:

Son aquellos provenientes del almidón, la celulosa, y las proteínas., los cuales se describen a continuación con su respectiva subclasificación:

- **Almidón:** Es el mayor generador de reserva energética que se encuentra en los vegetales, la mezcla de este polisacárido es “del 80% de amilopectina y el 20% de amilosa, las dos están formadas por estructuras de glucosa, cuya diferencia es la distribución lineal y los tipos de enlace que los unen” (Labeaga, 2018, pp.21-30).

Los bioplásticos formados con almidón poseen en su estructura del 10 al 90% dependiendo de las propiedades de la materia prima con la que se trabaje, como su hinchazón al contacto con el agua, la biodegradación; entre otros (Labeaga, 2018, pp.21-30).

Esto influye en la aceleración de la biodegradación del polietileno de baja densidad, utilizando almidón como materia prima, al tener en su estructura al menos el 50% de almidón (Labeaga, 2018, pp.21-30).

- **Colágeno:** se le atribuye una fuerza resistente, debido a que se forman hélices triples que se las conoce como fibrillas, presenta buena degradación enzimática, por la colagenasa .
- **Celulosa:** es uno de los polímeros más importantes debido a que tiene gran capacidad de biodegradarse, con la intervención de agentes que alteran su estructura. Mantiene una buena degradación al fermentarse, y la enzima con la que se descompone es la celulasa (Labeaga, 2018, pp.21-30).

Se encuentra asociada a la lignina y hemicelulosa, por lo cual le confieren resistencia mecánica, y gran cristalinidad (Labeaga, 2018, pp.21-30).

- **Quitina y Quitosano:** Es un polisacárido abundante, insoluble presenta una estructura cristalina, no es tóxico y es biodegradable, aunque se encuentra limitada al ser insoluble, las propiedades dependen del tamaño de muestra a utilizar, es decir mientras más grande sean las partículas, se tendrá valores más altos de viscosidad, entre otros (Labeaga, 2018, pp.21-30). Su degradación se da por vía enzimática, actuando la enzima “quitosanasa o lisozimas”. Su tiempo de degradación es prolongado al tener una velocidad de degradación lenta (Labeaga, 2018, pp.21-30).

- Características y ventajas de los bioplásticos

**Tabla 1-6.** Características y ventajas de los bioplásticos

| No. | Características   |
|-----|---|
| 1   | <b>Espesor:</b> es la trayectoria entre dos superficies perpendiculares, se considera como una propiedad importante por el rendimiento mecánico que adquiere la biopelícula.  |
| 2   | <b>Permeabilidad:</b> es fundamental ya que se evita que la película de bioplástico transfiera humedad (Brown et al., 2000, pp.9-11).   |
| 3   | <b>Solubilidad:</b> es la propiedad que adquiere una sustancia al disolverse con otra, que, en otras palabras, “porcentaje de disolución de la primera en la segunda”.  |
| 4   | <b>Medición de la opacidad:</b> esta característica es muy dependiente de la estructura que presenta la materia prima analizada, tomando en cuenta que, si es amorfo, será más clara o transparente, y es cristalino será más oscuro o turbio, relacionándose también con el espesor de la película. Además de que se debe tener en cuenta que al producto se lo debe cuidar de la luz.   |
| 5   | <b>Deformación en la tensión:</b> es la relación que se tiene de una muestra con la elongación al analizar la ruptura y la longitud inicial.  |
| 6   | <b>Módulo de elasticidad:</b> es el indicador de rigidez, es decir mientras más grande es el módulo más rígido es el material.  |
| 7   | <b>Ensayo de tracción:</b> Se refiere a la propiedades de resistencia a la tracción que adquieren los materiales al someterse al máximo esfuerzo axial, ya sea estático o aplicado lentamente, y se analiza la probabilidad de resistencia a la ruptura al estirarla desde ambos extremos de la probeta normalizada, tomando en cuenta además la humedad, temperatura y velocidad específica. El esfuerzo generalmente se expresa en Pa (pascales), y esta en relación a la carga sobre el área de la sección transversal inicial; además el incremento en longitud se informa en porcentaje del largo inicial (Mariano, 2011, p.56). |
| No. | Ventajas  |
| 1   | Se lo utiliza principalmente en el embalaje y empaquetado, lo que permite que mediante la utilización de rollos de plástico transparente se lo realice.   |
| 2   | Tienen mucha versatilidad en el empaquetamiento ya que no libera vapor de agua.   |
| 3   | Cuenta con una degradación al 100%.   |
| 4   | Dentro de sus propiedades más relevantes es que son moldeables, impermeables y de baja densidad.  |
| 5   | Ayudan con el reciclaje, y evitan la contaminación ambiental.   |
| 6   | En la industria los polímeros de almidón ocupan lugares de comercialización entre el 70-80% de bioplásticos.  |

Fuente: (González et al, 2020, pp.15-38).

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

#### **1.1.4. Aditivos usados para la obtención del polímero biodegradable**

Se los conoce a “las sustancias que van dispersas de manera física en la matriz del polímero, sin llegar alterar a su estructura molecular”, y se los emplea con la finalidad de suavizar a un polímero, ayudando a disminuir la cristalinidad; lo que le da una mayor flexibilidad y menor fragilidad; otorgándole además una mejora en la calidad de los materiales plásticos, a diferencia de los auxiliares o modificadores como por ejemplo son los catalizadores, agentes de curado y emulsificantes, entre otros, que se usan en la fabricación del polímero para modificar su estructura química (Brown et al, 2000, pp.9-11).

Al añadir plastificante a los polímeros, se cambia la organización tridimensional de la estructura del polímero, incrementado el contenido del sistema libre al reducir las fuerzas intermoleculares que producen la atracción, y permitiendo una matriz menos densa, dando lugar al aumento de la flexibilidad y extensibilidad de las películas, pese a que de igual manera pueda formarse una reducción en la tracción de las películas o si es el caso en la permeabilidad al vapor de agua (Trujillo, 2014, p.20).

**Tabla 1-7.** Aditivos usados para la obtención del polímero biodegradable

| No. | Aditivos                             | Características  |
|-----|--------------------------------------|--|
| 1   | Agua destilada                       | Es considerado como uno de los plastificantes más efectivos, ya que su valor de concentración determina un papel crítico en la retrogradación; también conocido como la insolubilización y la precipitación espontánea del almidón, si el plastificante es menor al 25%, facilita la cristalización de las cadenas de las moléculas del almidón, caso contrario la retrogradación del polímero es limitada (González et al., 2020, pp.15-38).  |
| 2   | Glicerina                            | La glicerina o glicerol es un líquido viscoso, incoloro, inodoro, capaz de absorber del aire la humedad; permitiendo así que el polímero o producto final aumente considerablemente su permeabilidad al vapor de agua esto debido a la naturaleza de carácter hidrofílica, que permite formar fácilmente puentes de hidrógeno enlazadas a las moléculas de agua y el etanol, siendo muy aplicativo en la industria (Ortiz, 2013, p.18). Además en su estructura cuenta con grupos orgánicos de carbono que colaboran con el desarrollo de microorganismos, fomentando los procesos de desnitrificación (Betancourt et al, 2016, pp.6-7).<br>Al mezclarse con el agua, le otorga propiedades de suavidad y uniformidad, retardando la degradación, y adicionando lubricación lo que proporciona el movimiento de las cadenas poliméricas (Betancourt et al, 2016, pp.6-7) |
| 3   | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) | Se lo conoce comúnmente como vinagre; es un proceso de esterificación de los polisacáridos que ayuda hidrolizando la mezcla de biopolímero, para que se estabilice, neutralizando las moléculas de gránulos irregulares del almidón, considerado como un buen antioxidante (Sierra et al, 2019). Es recomendado como modificador químico, ya que disminuye la propiedad hidrofílica del almidón, contribuyéndole un carácter hidrofóbico al material, de tal manera que se produzcan cambios relativamente significativos en las propiedades térmicas y mecánicas.   |
| 4   | Estabilizantes                       | Es aquel que se encarga de retardar la degradación de los productos, son utilizados en bajas concentraciones, con el fin de que se acople a la mezcla y solo formule semejanza y efectividad con el polímero (González et al., 2020, pp.15-38).  |
|     | Lubricantes                          | Son utilizados con el fin de disminuir la fricción entre dos materiales, reduciendo el desgaste, ayuda también en la transformación de procesos, de capas, externas y de superficies (González et al., 2020, pp.15-38).  |
| 6   | Desmoldante                          | Es importante que el bioplástico no se aglutine a la máquina de producción durante su procesamiento de forma que se puedan separar con simplicidad del molde los objetos moldeados. Motivo por el cual se consideran los siguientes lubricantes que actúan como desmoldantes, aquellos que son: sales sódicas del ácido esteárico, aceites, ceras, entre otros. Es así que una vez que se extraen los productos del molde, los lubricantes pueden exudar desde el bioplástico y evitar que estos se adhieran entre sí, proporcionando características antiadherentes y de deslizamiento a la superficie plástica. Suelen ser productos específicos para cada polímero a transformar (Guamán, 2019, p.21).  |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

### 1.1.5. Tiempo de biodegradación

Se conoce a la degradación como la capacidad que tiene los materiales de perder sus propiedades, al verse afectados por factores externos ya sean químicos o físicos (Velasco et al, 2014, p.32).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, para cada material, el tiempo de degradación varía ya que depende de muchas causas como:

- Velocidad de degradación.
- Se produce gradualmente la degradación.
- Diferentes condiciones climáticas
- No existe escala universal de degradación

El tiempo específico de degradación no se ha determinado con ninguna prueba, y no cuenta con ningún patrón, es decir no existe ningún tiempo determinado ya que todo depende del ambiente en que se encuentre, como puede ser, tierra, agua marina, agua de sanitario, dependiendo también del clima y puede presentar un tiempo de degradación de 60 A 156 días, tomando en cuenta que depende mucho de las características del material empleado (Meneses et al, 2007, p.30).

Según la norma ASTM D-5488-94D, al referirse como material biodegradable hace referencia a la capacidad de degradarse o descomponerse por la acción de CO<sub>2</sub>, agua, metano, biomasa o compuestos inorgánicos, entre otros, siendo el factor con mayor predominancia la acción enzimática de los microorganismos, ya que se los puede evaluar mediante ensayos estándar, durante un tiempo específico, para determinar su capacidad de eliminación (Meneses et al, 2007, p.30).

### ***1.1.6. Aplicaciones de los polímeros biodegradables***

Las propiedades mecánicas, físicas y químicas que se tiene de los bioplásticos a base de almidón son aceptadas, y demuestran la posibilidad de aplicación a nivel industrial y medicinal (González et al, 2020, pp.15-38).

A continuación, se muestran algunas de las aplicaciones de los plásticos biodegradables en la industria.

**Tabla 1-8.**Aplicaciones de los plásticos biodegradables.

| No. | Industria   | Aplicaciones   |
|-----|-------------|--|
| 1   | Alimentaria | Para la producción de empaques biodegradables, envolturas comestibles para la preservación de las frutas, pescados, carnes entre otros.                              |
| 2   | Envases     | Para la producción de envases, que se derivan en mercados de envases flexibles como son las bolsas y los films; envases rígidos como las bandejas, vasos y botellas. |
| 3   | Química     | Para la producción de artículos de higiene, espumas, juguetes amigables con el ambiente y para llantas de vehículos.   |
| 4   | Electrónica | Carcasa para walkman y cubiertas para teléfonos móviles que tiene la característica de ser reutilizadas a través del compostaje.                                     |

Fuente: (Guamán, 2019, p.19).

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Objetivos

##### 2.1.1. *General*

Producir plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (*Manihot esculenta*).

##### 2.1.2. *Específicos*

- Caracterizar los residuos de la yuca y su almidón.
- Identificar la concentración óptima de almidón y plastificante para la elaboración de plástico biodegradable.
- Determinar las características mecánicas del plástico biodegradable.
- Analizar el costo de producción del bioplástico a partir del almidón de residuos de yuca.

#### 2.2 Hipótesis y especificación de variables

##### 2.1.3. *General*

Las láminas de plástico biodegradables obtenidas a partir del almidón de la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) pueden utilizarse como sustituto de plásticos tradicionales utilizados en la vida diaria para el embalaje de alimentos de acuerdo a las normativas planteadas.

##### 2.1.4. *Específicas*

**H1:** El porcentaje de rendimiento del proceso de extracción del almidón de cáscara de yuca indica que la materia prima posee un rendimiento adecuado de almidón, suficiente para la obtención de bioplástico.

**H2:** El tiempo y la variación de la velocidad de la trituración (RPM) influyen en el rendimiento obtenido del almidón.

**H3:** La lámina de plástico biodegradable obtenida tiene un tiempo de degradación mucho menor al de los plásticos derivados de petróleo, contribuyendo de esta manera a disminuir una contaminación progresiva de la calidad del ambiente.

**H4:** Los bioplásticos y almidón obtenidos de la investigación se encuentran dentro de los parámetros de calidad establecidos y su formulación tiene un efecto significativo en la resistencia y maleabilidad de la lámina biodegradable.

#### **2.1.5. Identificación de variables**

**Tabla 2-1.** Identificación de variables

| No. | Variables dependientes   | Variables independientes                              |
|-----|--|---|
| 1   | Obtención del almidón de cáscara de yuca<br>( <i>Manihot esculenta</i> ) | ➤ Revoluciones por minuto<br>➤ Tiempo de trituración. |
| 2   | Formulación del bioplástico  | ➤ Combinación de aditivos.                            |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

### 2.1.6. Operacionalización de variables

**Tabla 2-2.** Operacionalización de variables en la obtención de almidón de cáscara yuca y en la formulación de bioplástico

| No.                            | VARIABLE  | CONCEPTO  | INDICADOR                          | INSTRUMENTO                  |
|--------------------------------|---|---|------------------------------------|------------------------------|
| <b>Variable independiente:</b> |   |   |                                    |                              |
| 1                              | Combinación de aditivos   | Se refiere a la combinación entre porcentajes de almidón y glicerina resultados en la formulación del bioplástico.  | % de almidón y % de glicerina      | Balanza analítica<br>Probeta |
| 2                              | Revoluciones por minuto (RPM)   | Las RPM son unidades de medida para expresar la frecuencia e indican la cantidad de rotaciones por minuto que completa un cuerpo que gira.  | Velocidad Alta<br>Velocidad Baja   | Licadora                     |
| 3                              | Tiempo de trituración   | Es la duración del proceso para reducir el tamaño de las partículas de un material por un medio mecánico.   | Segundos (s)                       | Cronómetro                   |
| <b>Variable dependiente</b>    |   |   |                                    |                              |
| 4                              | Obtención del almidón de cáscara de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ) | Consiste en romper las paredes celulares para liberar los gránulos de almidón mediante un proceso de rallado, seguido de la adición de agua y finalmente una filtración, permitiendo de esta manera la separación de las partículas de almidón suspendidas en el medio líquido .  | % amilosa y % amilopectina         | Análisis proximal            |
| 5                              | Formulación del bioplástico   | Son métodos para obtener nuevos polímeros y mezclas a partir de derivados de productos vegetales, y al utilizar productos netamente naturales se convierte en una opción como material biodegradable con un tiempo de degradación mucho menor al de los plásticos convencionales. | Tiempo de biodegradabilidad (días) | Pruebas mecánicas            |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

## 2.1.7. Matriz de consistencia

**Tabla 2-3.** Matriz de consistencia

| ASPECTOS GENERALES  |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| Problema general  |   | Objetivo general  |   | Hipótesis general   |
| La utilización excesiva de plásticos derivados del petróleo genera uno de los mayores índices de contaminación ambiental, ya que tardan mucho tiempo en degradarse a diferencia de los plásticos provenientes de materias primas vegetales. |   | Producir plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de cáscara de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ).  |   | Las láminas de plástico biodegradables obtenidas a partir del almidón de la cáscara de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ) pueden utilizarse como sustituto de plásticos tradicionales utilizados en la vida diaria para el embalaje de alimentos de acuerdo a las normativas planteadas.   |
| ASPECTOS ESPECÍFICOS  |   |   |   |   |
| Problemas específicos   | Objetivos específicos   | Hipótesis específicas   | Variables de las hipótesis específicas  | Técnicas de recolección de datos  |
| Se desconoce si el residuo del tubérculo escogido (cáscara de yuca) para el estudio tiene un porcentaje de almidón significativo.   | Caracterizar los residuos de la yuca y su almidón.  | <b>H1:</b> El porcentaje de rendimiento del proceso de extracción del almidón de cáscara de yuca indica que la materia prima posee un rendimiento adecuado de almidón, suficiente para la obtención de bioplástico                              | <b>Variables Dependientes:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Obtención y caracterización del almidón</li> <li>➤ Formulación de bioplástico</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % rendimiento de almidón</li> <li>➤ pH, viscosidad, T° de gelatinización, Solubilidad, Humedad, Ceniza, Fibra, Proteína, Carbohidratos totales</li> <li>➤ Amilosa, Amilopectina</li> <li>➤ Hongos, levaduras y coliformes totales</li> <li>➤ Espesor</li> <li>➤ Permeabilidad</li> <li>➤ Biodegradabilidad</li> <li>➤ Pruebas de tracción</li> </ul> |
| Se desconoce si las formulaciones propuestas son adecuadas en base a la concentración de almidón y glicerina necesarios para un plástico de buena calidad que cumpla con las normas establecidas.   | Identificar la concentración óptima de almidón y plastificante para la elaboración de plástico biodegradable. | <b>H2:</b> El tiempo y la variación de la velocidad de la trituración (RPM) influyen en el rendimiento obtenido del almidón.  |   |   |
| No existe mucha información acerca del tiempo de degradación de las láminas de plástico biodegradables obtenidas a partir de almidón ni de la calidad como opción viable para su posterior uso.   | Determinar las características mecánicas del plástico biodegradable.  | <b>H3:</b> La lámina de plástico biodegradable obtenida tiene un tiempo de degradación mucho menor al de los plásticos derivados de petróleo, contribuyendo de esta manera a disminuir una contaminación progresiva de la calidad del ambiente. | <b>Variables Independientes:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Revoluciones por minuto</li> <li>➤ Tiempo</li> <li>➤ Combinación de aditivos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Revolución alta y baja</li> <li>➤ Cronómetro</li> <li>➤ Variación de la composición</li> </ul>   |
|   | Analizar el costo de producción del bioplástico a partir del almidón de residuos de yuca.                     | <b>H4:</b> Los bioplásticos y almidón obtenidos de la investigación se encuentran dentro de los parámetros de calidad establecidos y su formulación tiene un efecto significativo en la resistencia y maleabilidad de la lámina biodegradable.  |   |   |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

## 2.3 Tipo y diseño de investigación

### 2.3.1 Por el tipo de investigación

El desarrollo de un nuevo biopolímero es una investigación aplicada-mixta, ya que se basó en un proceso (cualitativo y cuantitativo), debido a que busca dar solución al problema planteado utilizando la información obtenida de estudios y datos acerca de la aplicación de los residuos de la yuca, que permiten revelar al investigador las situaciones presentadas en cada uno de los experimentos, mediante los resultados de los análisis de laboratorio tanto para el rendimiento del almidón y el porcentaje de degradación del bioplástico, obteniendo así datos específicos para cumplir con el objetivo de la investigación.

### 2.3.2 Diseño experimental de la investigación

Para esta investigación se trabajó con el diseño factorial  $2^k$ , en donde “2” representa los factores/aditivos considerados variables y “k” los niveles o límites de variación (límite bajo (-) y límite alto (+)).

Para la obtención del almidón, se emplearon dos factores que son el tiempo y la velocidad, de tal manera que se llevó a cabo 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, generando 16 unidades experimentales en total, para de esta manera poder determinar el mejor rendimiento del almidón.



\*LA: Límite alto; \*LB: Límite bajo

**Figura 2-1.** Diseño factorial  $2^k$ , para obtención de almidón de cáscara de yuca

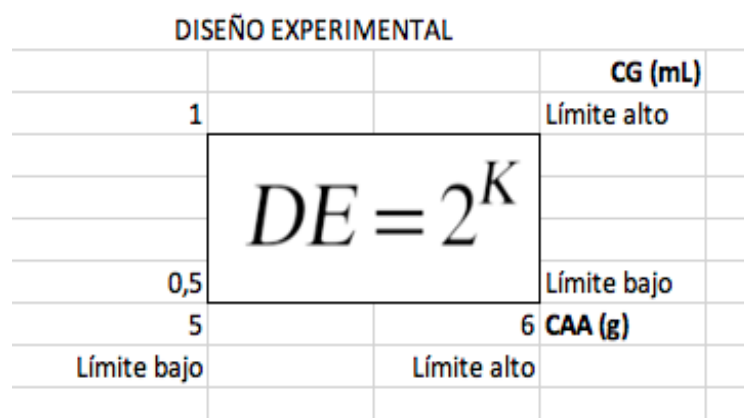
Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

**Tabla 2-4.** Tratamientos a realizarse para la obtención del almidón

| % RENDIMIENTO DE ALMIDÓN | Tiempo de trituración (segundos) |             |
|--------------------------|----------------------------------|-------------|
|                          | 30 segundos                      | 45 segundos |
| Velocidad (RPM)          |                                  |             |
| Velocidad 1 (baja)       | 18,109                           | 18,357      |
|                          | 18,278                           | 15,353      |
|                          | 18,537                           | 21,313      |
|                          | 18,242                           | 20,477      |
| Velocidad 2 (alta)       | 32,19                            | 23,174      |
|                          | 26,47                            | 23,476      |
|                          | 27,34                            | 32,191      |
|                          | 27,04                            | 26,472      |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

De igual manera se ejecuta la formulación de los bioplásticos, teniendo dos variables importantes: la concentración del vinagre y la concentración de la glicerina de acuerdo a la Figura 2-2, obteniendo así 16 muestras de bioplástico en total, a través de la cual fueron variando los tratamientos de la siguiente manera: (+, +); (+, -); (-, -); (-, +). Así se tuvieron 4 tratamientos con 4 repeticiones por cada uno, necesarios para encontrar el mejor tratamiento que sea arquetipo en el embalaje de alimentos. Cabe mencionar que en la formulación del bioplástico se mantienen constantes los valores de agua y almidón.



**Figura 2-2.** Diseño factorial  $2^k$ , para la obtención de las láminas biodegradables

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Para identificar si existen o no diferencias significativas entre los tratamientos, tanto para la obtención del almidón como para el biopolímero, se utilizó el análisis estadístico ANOVA de dos factores, con la ayuda del programa Microsoft Excel y poder de esta manera comprobar o rechazar las hipótesis propuestas en el objeto de estudio y constatar la veracidad de sus datos.

## **2.4 Unidad de Análisis**

La unidad de análisis para esta investigación es la obtención del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*), el cual se caracterizó física, química y microbiológicamente, en base a la norma NTE INEN 1456, necesario en la formulación del bioplástico, al mismo que se le realizarán ensayos para determinar las propiedades de tracción físico-mecánicas en base a la norma NTE INEN 2635, así como también el tiempo de biodegradación a diferentes condiciones.

## **2.5 Población de Estudio**

La población de estudio considerada corresponde a muestreos al azar de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*), provenientes de expendios de comida costeña y principales mercados de la ciudad de Riobamba; con la finalidad de seleccionar los mejores ejemplares libres de putrefacción u otros factores que alteren los resultados de la investigación.

## **2.6 Tamaño y selección de la Muestra**

Se trabajó con 4,8 kilogramos de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) para obtener almidón por vía húmeda necesario en la formulación del bioplástico, realizándose 16 repeticiones, es decir, con 4 tratamientos, y en cada tratamiento se efectuó 4 repeticiones, necesarios para conocer los efectos de la experimentación, en el cuál se escogieron los mejores ejemplares que sean similares tanto en tamaño, diámetro y aspecto físico debido a que algunos presentaban anomalías en su aspecto o con microorganismos que pueden ser nocivos para la salud.

## **2.7 Técnicas de Recolección de Datos Experimentales**

### ***2.7.1 Lugar de realización***

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

La ESPOCH se encuentra ubicada en la ciudad de Riobamba, región interandina de la Sierra Ecuatoriana, panamericana Sur km 1 ½; con coordenadas geográficas 1°39'20" S 78°40'42" W y a una altura de 2817 m.s.n.m.

### 2.7.2 Técnica de extracción del almidón

**Tabla 2-5.** Técnica de extracción del almidón de la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)

| No. | Método     | Materiales, equipos y reactivos   | Procedimiento   | Métodos de ensayo                                     |
|-----|------------|---|---|---|
| 1   | Vía Húmeda | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza</li> <li>• Recipiente de plástico de 20 y 5 litros</li> <li>• Cuchillo y rallador de acero inoxidable</li> <li>• Licuadora</li> <li>• Cronómetro</li> <li>• Papel filtro y aluminio</li> <li>• Tela nylon filtrante y guantes quirúrgicos</li> <li>• Bandejas de aluminio y Fundas ziploc</li> <li>• Mortero y pistilo</li> <li>• Torre de tamiz para granulometría</li> <li>• Recipientes plásticos con tapa hermética</li> <li>• Agua destilada (H<sub>2</sub>O), Ácido cítrico 25% (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Recolección de la materia prima:</b> Se recolectó ejemplares de yuca de mercados de la ciudad de Riobamba, que contengan características similares y libres de daños como manchas o por insectos.</li> <li>- <b>Lavado y pelado:</b> Se lava las yucas para retirar la tierra o cualquier patógeno que con estas conllevan y se prosigue a pelar las yucas en secciones más pequeñas; retirando las cáscaras y de ellas la epidermis.</li> <li>- <b>Rallado:</b> Una vez obtenidas las cáscaras de yuca se realiza un lavado profundo con agua potable, para eliminar por completo las sustancias no deseadas y que no son visibles, y se continua a trocear y rallar aproximadamente a 2- 3 mm de espesor para que tenga una mejor superficie de contacto la materia prima.</li> <li>- <b>Remojo en una solución antipardeamiento:</b> Se colocan las muestras ralladas en un tina con ácido cítrico y agua destilada al 25% durante 15 minutos para evitar la oxidación enzimática del almidón y eliminar también el colorante natural que estas presentan.</li> <li>- <b>Pesado y Triturado:</b> Se escurre la muestra para eliminar el exceso de agua y se pesa 300 gramos de la cáscara de yuca rallada con 500 ml de agua destilada para evitar la contaminación de la muestra en cada triturada, en estas se utiliza una licuadora casera a dos velocidades (alta y baja) y con 3 tiempos (15, 30 y 45 segundos) dependiendo cada tratamiento. Este proceso es fundamental para determinar el mejor rendimiento de almidón.</li> <li>- <b>Filtrado y decantado:</b> Se utiliza una tela de filtración para separar la solución agua-almidón del residuo sobrante del proceso de triturado y se traspasa la solución a contenedores de plástico durante 8-12 horas para que sedimente el almidón y se suspenda el agua con otros residuos que pudieron escaparse del filtrado, luego de esto se filtra la suspensión con papel filtro y se recolecta el almidón en bandejas de aluminio.</li> <li>- <b>Secado:</b> Se deja secar las muestras de almidón al ambiente de 48 a 60 horas, debido a que se contamina o quemaba el almidón dentro de una estufa. Cabe recalcar que la temperatura ambiente es de 24-25 °C.</li> <li>- <b>Molienda, pesado y tamizado:</b> Una vez seco el almidón se disminuye el tamaño de la partícula con la ayuda de un mortero y pistilo, luego se lo hace pasar por una torre de tamiz hasta la malla N°106 para obtener una granulometría homogénea y finalmente se pesa la harina recolectada por cada tamiz.</li> <li>- <b>Empacado y almacenamiento:</b> Se almacena y empaca el almidón extraído y se lo conserva en un lugar fresco para su posterior utilización y que esta no se contamine.</li> </ul> | <p>(Espinosa, 2015)</p> <p>(Maulida, et al, 2016)</p> |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.



El rendimiento porcentual para la obtención de almidón o harina de cáscara de yuca, se determinó usando la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:**

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso almidón obtenido (g)}}{\text{Peso inicial materia prima (g)}} \times 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{84,780}{300} * 100$$

$$\%Rendimiento = 28,26$$

### **2.7.3 Caracterización del almidón y materia prima de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)**

#### **2.7.3.1 Técnica de caracterización del almidón extraído**

En cuanto a la caracterización del almidón de cáscara de yuca resumido el proceso en la Figura 2-3, el análisis proximal se realizó en el Laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias, ESPOCH, a excepción del análisis del porcentaje de amilosa que fue realizado en el Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el análisis microbiológico y el análisis de fibra y proteína que fue realizado en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias, ESPOCH.

**Tabla 2-6.** Técnica para realizar la caracterización del almidón de la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)

| No | Método de evaluación            | Materiales, equipos y reactivos  | Procedimiento   | Cálculos  | Norma  |
|----|---------------------------------|--|---|---|--|
| 1  | <b>Prueba de pH</b>             | Balanza analítica<br>Espátula<br>Medidor de pH<br>Agitador magnético o shaker RPM (60-1600)<br>Vaso de precipitación<br>Vasos de plástico de muestra de orina<br>Papel filtro<br>Agua destilada<br>Almidón | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe realizar esta técnica por triplicado.</li> <li>- Pesar 5 g del almidón extraído y mezclar con 25 mL de agua destilada.</li> <li>- Poner la solución en un vaso de plástico de muestra de orina y llevarlo al agitador magnético o shaker 30 minutos, a 200 RPM y 30°C.</li> <li>- Dejar sedimentar por 20 minutos.</li> <li>- Calibrar el medidor de pH.</li> <li>- Tomar una alícuota del sobrenadante después del tiempo de sedimentación.</li> <li>- Medir pH.</li> </ul> | Reportar el valor arrojado por el medidor de pH.  | Técnica usada ISI (1990), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO) (Aristizábal et al., 2007).    |
| 2  | <b>Densidad Aparente</b>        | Balanza analítica<br>Probeta de 25 mL<br>Espátula<br>Almidón   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe realizar esta técnica por triplicado.</li> <li>- Pesar la probeta vacía.</li> <li>- Añadir con la espátula el almidón sin compactar hasta llegar al volumen total de la probeta.</li> <li>- Pesar la probeta con el almidón sin compactar.</li> <li>- Compactar el almidón dentro de la probeta.</li> <li>- Medir la diferencia de volumen de la muestra compactada.</li> </ul>  | <p><b>Densidad aparente del almidón compactado (g/mL)</b></p> <p><b>Ecuación 2:</b></p> $= \frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía (g)}}{\text{Volumen de muestra empacada (mL)}}$ $= \frac{[(63,08)(\text{g})] - 52,495 (\text{g})}{18 (\text{mL})}$ $= 0,59$ | Técnica usada Smith (1967), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO). (Aristizábal et al., 2007). |
| 3  | <b>Viscosidad de Brookfield</b> | Vaso de precipitación<br>Balanza analítica<br>Espátula<br>Reverbero y malla<br>Viscosímetro de Brookfield<br>Varilla de agitación  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Pesar 25 g de almidón y disolver con 500 mL de agua destilada en un vaso de precipitación.</li> <li>- Poner a hervir hasta ebullición mientras se va agitando con la varilla.</li> </ul>  | Reportar el valor arrojado por el viscosímetro en centipoises (cP).   | Técnica usada ISI (2002), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO).                               |

|   |                              |  |  |   |   |
|---|------------------------------|--|--|---|---|
|   |                              | Termómetro<br>Almidón<br>Agua destilada  | - Sacar y esperar a que se enfríe el gel a 25°C.<br>- Medir la viscosidad.   |   | (Aristizábal et al., 2007).   |
| 4 | <b>T° de gelatinización</b>  | Balanza analítica<br>Vasos de precipitación de 150 y 250 mL<br>Pinzas<br>Reverbero<br>Varilla de Agitación<br>Termómetro<br>Agua destilada<br>Almidón  | -Se debe realizar esta técnica por triplicado.<br>- Pesar 5 g de almidón y disolver en 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitación de 150 mL.<br>- Calentar a baño maría en un vaso de 250 mL hasta que llegue a la temperatura de 80-85°C y agregar la disolución de almidón mientras se va agitando.<br>-Se apaga cuando llegue a ebullición y se forme una pasta o gel con un temperatura constante.<br>- Se reporta la temperatura de gelatinización.  | Leer la temperatura de gelatinización con el termómetro cuando se forme el gel.   | Técnica usada Grace (1977), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO).<br>(Aristizábal et al., 2007)          |
| 5 | <b>Índice de solubilidad</b> | Balanza analítica<br>Vasos de precipitados<br>Tubos de centrifuga<br>Centrífuga<br>Reverbero<br>Varilla de Agitación<br>Termómetro<br>Probeta<br>Estufa<br>Tubos falcom<br>Agua destilada<br>Almidón | -Se debe realizar esta técnica por triplicado.<br>- Poner 3 tubos de centrifuga secos a 60°C en la estufa por 15 minutos.<br>- Pasar los tubos en el desecador por 20 minutos.<br>- Pesar tubos en la balanza analítica.<br>- Poner 1,25 g de almidón y agregar exactamente 30 mL de agua destilada y agitar.<br>- Prender el baño maría a 60°C durante 30 minutos y luego de esto colocar los tubos, pasado 10 minutos agitar los tubos despacio un rato y se vuelve a dejar 20 minutos más a baño maría.<br>- Sacar y colocar los tubos en la centrifuga por 20 minutos a 3000 RPM.<br>- Sacar de la centrifuga y tomar el volumen del sobrenadante en una probeta inmediatamente.<br>- Tomar 10 mL del sobrenadante y poner en un vaso de precipitados anteriormente pesado.<br>- Colocar en la estufa por 24 horas a 70°C.<br>- Poner en el desecador por 20 minutos.<br>- Pesar el tubo de centrifuga con el gel y pesar el vaso de precipitados. | <b>Índice de solubilidad en agua (ISA)</b><br><br><b>Ecuación 3:</b><br><br>$= \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$<br>$= \frac{0,013 \text{ (g)} \times 27 \times 10}{1,253 \text{ (g)}}$<br>$= 2,8$ | Técnica usada Anderson et al (1969), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO).<br>(Aristizábal et al., 2007) |

|   |                               |   |  |   |   |
|---|-------------------------------|---|--|---|---|
| 6 | <b>Humedad y cenizas</b>      | <p>Crisoles<br/>Estufa<br/>Balanza analítica<br/>Mufla<br/>Desecador<br/>Espátula<br/>Almidón</p>   | <p>-Se debe realizar esta técnica por triplicado.<br/>- Lavar los crisoles y dejar secar a 70°C en la estufa.<br/>- Una vez secos pasar los crisoles al desecador durante 15-20 minutos.<br/>- Pesar los crisoles vacíos.<br/>- Tarar los crisoles y colocar 5 g de almidón.<br/>- Colocar en la estufa a 70°C.<br/>- Sacar y pesar hasta que tenga un peso constante.<br/>- Pasar los crisoles utilizados en humedad a la mufla durante 24 horas e incinerar a 550°C.<br/>- Cuando la muestra este en color blanco o gris poner en el desecador durante 60 minutos aproximadamente.<br/>- Pesar los crisoles.</p> | <p><b>Porcentaje de humedad (%)</b><br/><b>Ecuación 4:</b></p> $\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$ $\% \text{Humedad} = \frac{5,022 - 4,329}{5,022} * 100$ <p><b>%Humedad = 13,80 %</b></p> <p><b>Porcentaje de cenizas (%)</b><br/><b>Ecuación 5:</b></p> $\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{Peso de muestra}} * 100$ $\% \text{Cenizas} = \frac{1,744}{38,072} * 100$ <p><b>%Cenizas = 4,58 %</b></p> | <p>NTE INEN-ISO 1666<br/>Técnica usada (AOAC, 2000), FAO.<br/>(Aristizábal et al., 2007).</p> |
| 7 | <b>Prueba de sensibilidad</b> | <p>Balanza analítica<br/>Vasos de precipitación de 25 y 250 mL<br/>Reverbero<br/>Agua destilada<br/>Almidón<br/>Solución de yoduro de potasio</p> | <p>-Pesar 1 g de almidón en un vaso de 25 mL y disolver con 5 mL de agua destilada.<br/>- Pongo a hervir 200 mL de agua destilada en un vaso de 250 mL.<br/>- Una vez que hierve el agua le agrego la solución de almidón.<br/>- Dejo enfriar y cuando está completamente homogenizada la mezcla, se le añade cuatro gotas del indicador Lugol o solución de yoduro previamente preparado.<br/>- Para la solución de yoduro peso 0.05 de yoduro disuelta en 100 mL de agua destilada.</p>  | <p>La coloración azul o morado de la muestra, indica la presencia de almidón dando como resultado positivo a la prueba.</p>   | <p>Adaptado de Fuente: NTC 926, 1986.<br/>NTE INEN 1456</p>                                   |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

- Análisis de porcentaje de fibra y proteína

Se realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a que no estaban disponibles para los estudiantes, los reactivos que se necesitaban para realizar estos análisis. Las pruebas fueron realizadas a cargo de la Ing. Gina Álvarez, y se utilizó la norma NTE INEN 2725 para su análisis y comparación con el rango de calidad.

- Análisis de porcentaje de carbohidratos totales

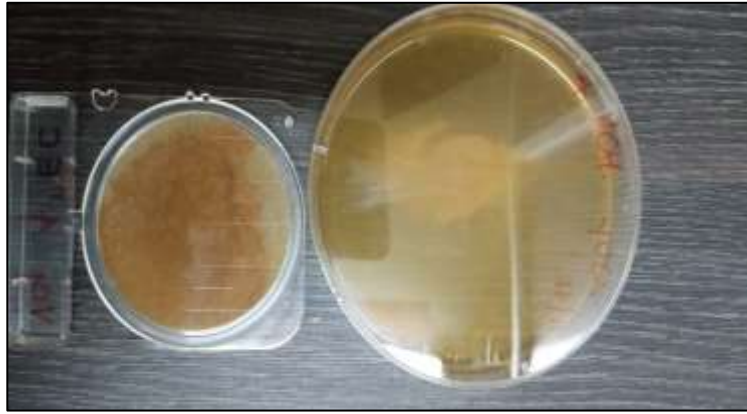
Para este análisis que fue realizado en el Laboratorio de Investigaciones de la ESPOCH, se utilizó la ecuación descrita por 2,  $(100 - (\% \text{ de grasa} + \% \text{ proteína} + \% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ fibra cruda}))$ , donde reporta que para el cálculo de carbohidratos totales se calcula por diferencia del análisis proximal expresado en porcentaje.

- Análisis de porcentaje de amilosa y amilopectina

Se realizó en el laboratorio de Servicio de Análisis de Investigación de Alimentos, Departamento de Nutrición y Calidad en la Estación Experimental de Santa Catalina (INIAP), debido a que este tipo de análisis no se lo puede realizar en las instalaciones de la ESPOCH. Este ensayo se lo realizó en base seca para el porcentaje de amilosa y el contenido de amilopectina se calculó por diferencia del contenido de amilosa.. La metodología utilizada fue por el método de Morrison y Laignelet 1983 (MO-LSAIA-04), que fue proporcionada del informe emitido por parte de la entidad.

- Análisis de hongos, levaduras, mohos y coliformes totales

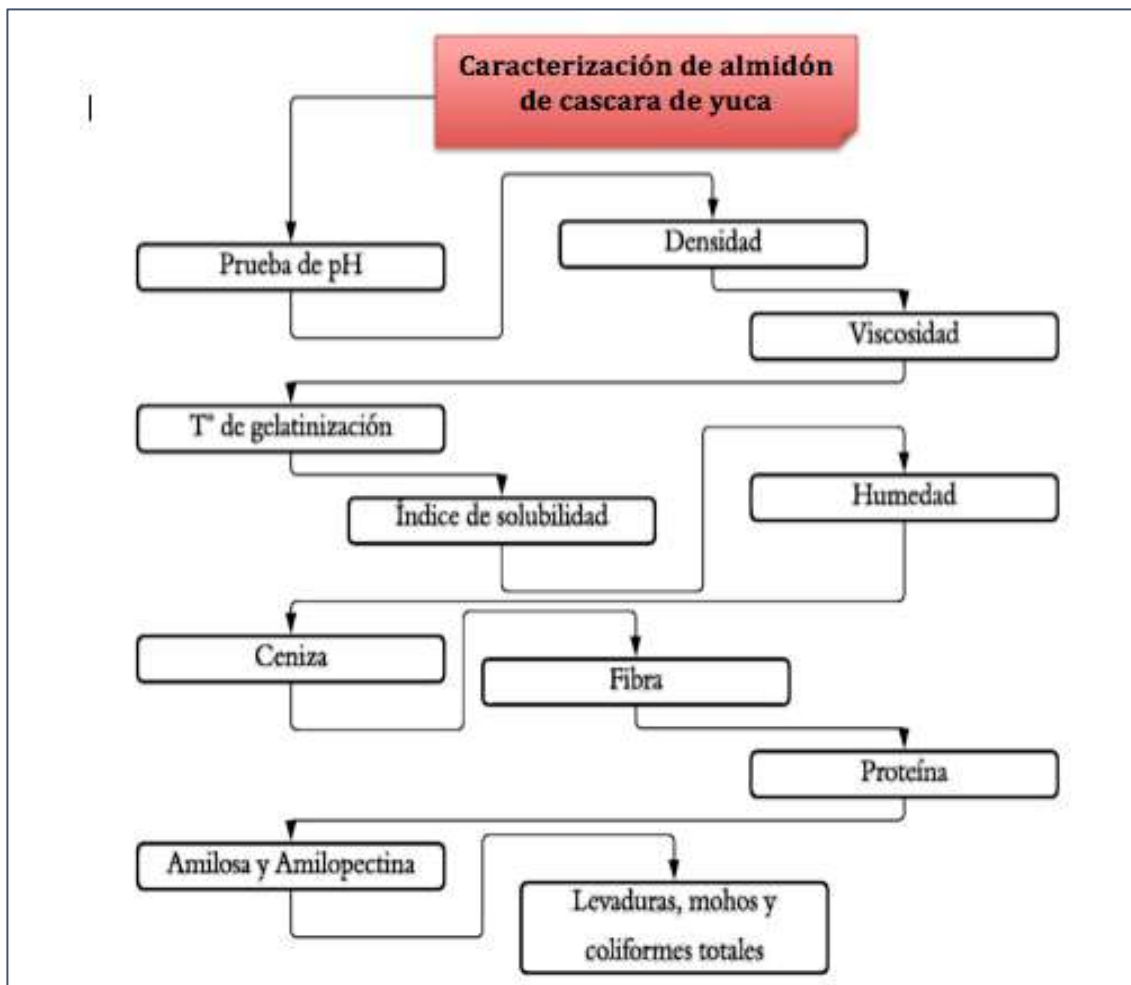
Este análisis se lo llevo a cabo en el Laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH a cargo de la Ing. Gina Álvarez, se lo realizó en base seca y mediante siembras microbiológicas se determinó la cantidad de hongos, mohos, levaduras y coliformes totales presentes en la muestra de almidón para su posterior uso en la elaboración de las láminas biodegradables y embalaje de alimentos, por lo cuál esta debe encontrarse en el rango de los límites permisibles de calidad. Para este análisis se utilizó los valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO), Técnica usada (ICONTEC, 1998).



**Figura 2-3.** Análisis de levaduras, mohos y coliformes totales

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

A continuación se resume el procedimiento de la caracterización del almidón expuesto en la Tabla 2-6:



**Figura 2-4.** Diagrama de flujo de la caracterización del almidón de cáscara de yuca

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

### 2.7.3.2 Caracterización de la materia prima de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)

- a) **Recepción de materia prima:** La materia prima se obtuvo de la marisquería "El Calipso" y el mercado San Alfonso de la ciudad de Riobamba.
- b) **Selección:** Luego de la recolección se llevaron al laboratorio donde se procedió a la selección y adecuación de la materia prima.
- c) **Lavado y desinfección:** Se procedió a lavar y eliminar cualquier daño fisiológico y/o microbiano que conlleven las cáscaras.
- d) **Secado:** La materia prima fue deshidratada a una temperatura de 70 ° C por un periodo de 6 horas en un horno secador de bandejas.



**Figura 2-5.** Cáscara deshidratada de yuca

Fuente: Chimbo Valeria, 2021.

- e) **Molienda y tamizado:** Las cáscaras secas fueron trituradas en un molino eléctrico y tamizadas hasta obtener un tamaño de partícula de (60µm).



**Figura 2-6.** Cáscara de yuca en base seca

Fuente: Chimbo Valeria, 2021.

- f) **Envasado:** Una vez secas las muestras son almacenadas para luego proceder a los análisis químicos y funcionales.

**g) Caracterización Físico, Químico y Proximal.**

➤ **Materia seca:** Para determinar la pérdida de peso del contenido de materia seca, al someterse al calentamiento durante un periodo de tiempo, se utilizó la técnica establecida por la norma ICONTEC (2002), y su procedimiento se lo realizó por triplicado establecido de la siguiente manera:

- Lavar y secar 3 cápsulas de porcelana durante 6 horas a 75°C, utilizando un horno secador de bandejas.
- Secar las cápsulas y llevar a un desecador hasta peso obtener un peso constante.
- Moler y tamizar la materia prima y pesar 5g en las cápsulas, usando una balanza analítica.
- Dejar las muestras en el horno durante 48 horas a 40°C.
- Retirar las muestras del horno y llevar al desecador hasta obtener un peso constante.

Para el cálculo de la materia seca de la muestra se realizó utilizando la siguiente ecuación matemática:

**Ecuación 6:**

$$\% \text{ materia seca} = \frac{\text{peso muestra seca (g)} - \text{peso cápsula vacía(g)}}{\text{peso muestra húmeda (g)} - \text{peso cápsula vacía(g)}} * 100$$

$$\% \text{ materia seca} = \frac{29,5 - 47,752}{5 - 47,752} * 100$$

$$\% \text{ materia seca} = 42,69 \%$$

➤ **Determinación de humedad:** La determinación de la humedad se realizó por triplicado en base a método 930.15 de la AOAC (2002) siguiendo el siguiente procedimiento:.

- En cápsulas previamente taradas en la balanza analítica se pesó 5 g de la materia prima y se colocaron a la estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante.
- El porcentaje de humedad se determinó mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 7:**

$$\% H = 100 - MS$$

$$\% H = 100 - 42,69 = 57,31$$

Donde % H representa a el porcentaje de humedad y MS representa al contenido la materia seca.



- **Determinación de cenizas:** Se realizará por el método de incineración, método oficial de la AOAC 923.03 (2002).
- **Determinación de carbohidratos:** Se determinó por el método de la A.O.A.C (1984). Se calculará por diferencia del 100% menos la suma de porcentajes de los demás componentes.
- **Densidad:** Según lo descrito por (Vilche et al, 2003; citados por González et al.,2020).
  - Se establecerá mediante la relación masa/volumen en una probeta de 50 mL, y con balanza electrónica con precisión 0,01 g.
  - Agregar hasta enraizar una cantidad conocida de volumen (10 a 50 mL) y registrar el peso.
  - Determinar la densidad aparente mediante la siguiente relación:

**Ecuación 8:**

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{(Peso de la muestra; g)}}{\text{(Volumen ocupado; mL)}}$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{10,585}{18}$$

$$\text{Densidad aparente} = 0,59 \text{ g/mL}$$

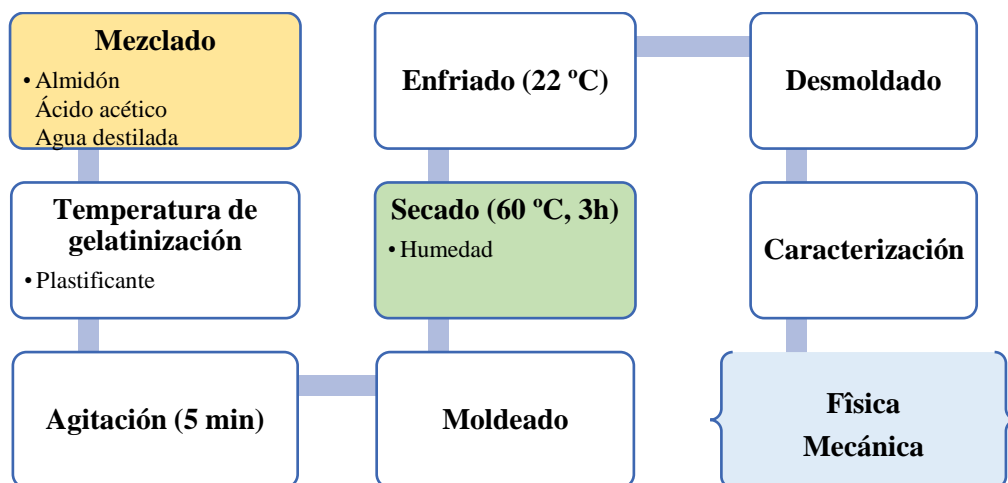
- **Determinación de pH:** Según el procedimiento 02-5 AACC (1995).
  - Se determinará el pH a temperatura ambiente.
  - Se mezclará 10 g de muestra y 90 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 15 minutos.
  - Dejar reposar la mezcla por 30 minutos.
  - Determinar el pH del sobrenadante, por triplicado, con un potenciómetro previamente calibrado con agua destilada.

**2.7.4 *Elaboración y caracterización del plástico biodegradable a partir de las formulaciones planteadas en el diseño factorial***

Este proceso fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones de la ESPOCH, y para su realización se sometió a una extensa revisión bibliográfica basado en la metodología descrita por (Pérez, 2019) con algunas modificaciones basadas en (Guamán, 2019) para elaborar las láminas de plástico biodegradables que sean eficientes, económicas y que contengan buenas propiedades mecánicas; dependiendo del contenido de sus 4 unidades experimentales

(almidón, glicerina, agua destilada y ácido acético), propuestas en las formulaciones del bioplástico.

En el Gráfico 2-1, se presenta de manera resumida el diagrama de flujo del procedimiento de la elaboración del bioplástico.



**Gráfico 2-1.** Diagrama del proceso de obtención del bioplástico

Fuente: (Pérez, 2019).

#### 2.7.4.1 Proceso para la obtención del bioplástico

**Tabla 2-7.** Proceso de obtención del bioplástico de almidón de cáscara de yuca

| PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
| No.                                  | Materiales, equipos y reactivos  | Procedimiento   |
| 1                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Reverbero</li> <li>- Malla</li> <li>- Vasos de precipitación de 250 mL</li> <li>- Vaso de precipitación de 50 mL</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Espátula</li> <li>- Probetas de 10 y 50 mL</li> <li>- Cajas Petri de vidrio</li> <li>- Moldes rectangulares de vidrio</li> <li>- Espátula</li> <li>- Pinza doble nuez</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Pipetas de 10 mL</li> <li>- Pera</li> <li>- Estilete</li> <li>- Agua Destilada (H<sub>2</sub>O)</li> <li>- Glicerina (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>)</li> <li>- Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)</li> <li>- Almidón de cáscara de yuca</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizar varias repeticiones para encontrar la cantidad idónea en las formulaciones que se emplearan para realizar el bioplástico.</li> <li>➤ Pesar el almidón en un vaso de precipitación de 50 mL, de acuerdo a la formulación propuesta.</li> <li>➤ Añadir el volumen de agua y ácido acético necesario que brindan las características conservantes.</li> <li>➤ Mezclar bien hasta homogenizar.</li> <li>➤ Llevar la mezcla al baño maría y se agita constantemente hasta llegar a los 60°C, llegado a esa temperatura se le añade la cantidad de glicerina necesaria que brinda las propiedades de plastificantes de flexibilidad y elasticidad.</li> <li>➤ Cuando llegue a la temperatura de gelatinización, sacar la mezcla del baño maría.</li> <li>➤ Colocar la mezcla viscosa en la caja petri o en el molde de vidrio.</li> <li>➤ Dejar secar al ambiente durante el tiempo de secado necesario de acuerdo a cada formulación.</li> </ul> |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

### 2.7.4.2 *Análisis sensorial*

Este análisis permite analizar cualitativamente las características de las formulaciones realizadas, basándose en parámetros que establecen la calidad de los tratamientos, realizando un análisis organoléptico sensorial que determinen la textura, el aspecto, la flexibilidad y la resistencia de las láminas; para aceptar o descartar su valoración. Para esto dará una puntuación de Si o No en donde No es catalogada como (Inaceptable) y Si (Aceptables), con el fin de a través de estos aspectos organolépticos calificar la apreciación al tacto y a la vista (Guamán, 2019, pp.35-40).

**Tabla 2-8.** Valoración sensorial de bioplásticos

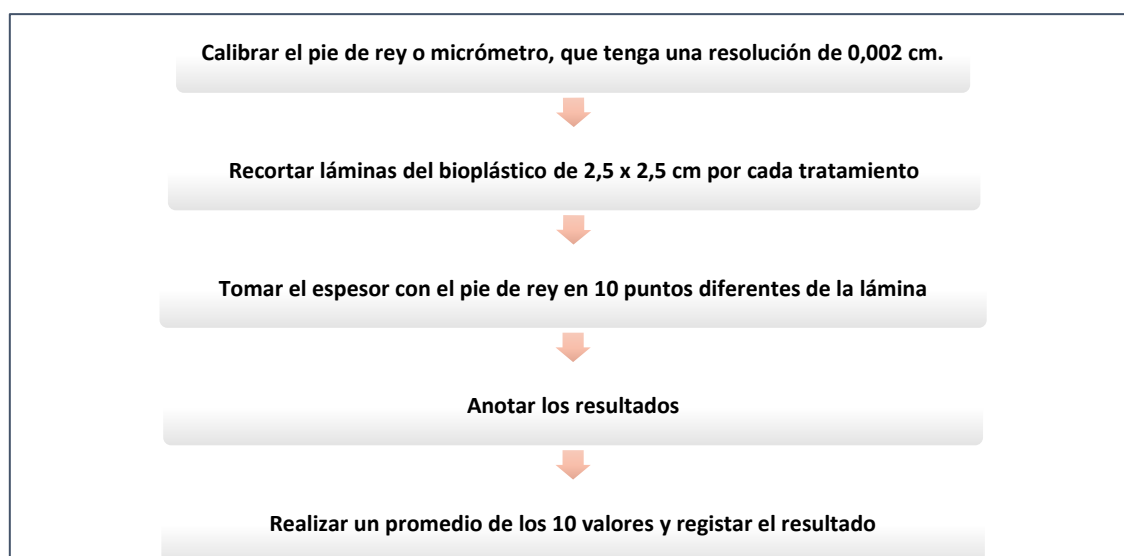
| No. | Análisis      | Características | Valoración |
|-----|---------------|-----------------|------------|
| 1   | Organoléptico | Opaco           | No         |
|     |               | Áspero          |            |
|     |               | Poco flexible   |            |
|     |               | Débil           |            |
|     |               | Traslúcido      | Si         |
|     |               | Lisa            |            |
|     |               | Flexible        |            |
|     |               | Resistente      |            |

Fuente: (Guamán, 2019).

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

### 2.7.4.3 *Determinación del Espesor*

Para la determinación del espesor de manera directa según lo expresado por (Guamán, 2019), en su trabajo denominado: Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial, se basó en la Norma INEN 2542 y UNE-ISO 4593, la cuál menciona el procedimiento explicado de mejor manera a continuación:



**Gráfico 2-2.** Diagrama de análisis del espesor

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

#### 2.7.4.4 *Determinación de Humedad*

Para determinar la cantidad de humedad presente en las láminas de plástico biodegradable se utilizó la metodología redactada en la tesis de (Guamán, 2019) con el tema: OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARAS DE PAPA PARA SU APLICACIÓN INDUSTRIAL, basada en el protocolo de (Manzano Hernández, 2018), que consiste en determinar la pérdida de peso del bioplástico al ser sometido a deshidratación por 24 horas calculado con la siguiente fórmula:

#### **Ecuación 9:**

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(m_w - m_d)}{m_w} * 100$$

En donde:

$m_w$  = peso inicial de las láminas (g)

$m_d$  = peso seco o final de las láminas (g)

- Este análisis se realizó por triplicado por cada tratamiento del bioplástico y su procedimiento consistió en :
- Llevar los crisoles limpios a la estufa por 2 horas a 105°C .
- Sacar de la estufa y dejarlos en el desecador por 20 minutos .
- Pesar los crisoles vacíos.
- Pesar 3 g del bioplástico en el crisol y llevarlos a la estufa a 105°C por 24 horas.
- Comprobar que el peso sea constante.
- Reportar los datos y promediarlos.

#### 2.7.4.5 *Determinación de Solubilidad en agua*

En este análisis según la revista de la técnica del LABORATORIO TECNOLÓGICO DE URUGUAY No 4-2009-INN TEC – 33, que es detallada en la tesis de (Espinosa, 2015, pp.38-50) con el tema: OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE PATATA. Se describe el procedimiento para determinar la solubilidad del bioplástico y para este análisis se utiliza la siguiente fórmula:

**Ecuación 10:**

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

Este análisis se realizó por triplicado por cada tratamiento del bioplástico y su procedimiento es descrito a continuación:

- Recortar láminas de bioplástico de cada tratamiento con tamaños de 3 x 3 cm.
- Pesar las láminas y dejarlas secar por 30 minutos.
- Colocar las muestras en vasos de plástico con 80 mL de agua destilada y tapar bien.
- Llevar las muestras preparadas al Shaker por 1 hora a 200 rpm.
- Sacar del Shaker y colocar las muestras de bioplástico en papel filtro.
- Llevarlas a la estufa a una temperatura de 105°C por una hora.
- Ir pesando las muestras después de la hora hasta obtener un peso constante.

**2.3.1.1. Determinación de la Permeabilidad al vapor de agua**

Este parámetro se determinó en base a la norma ASTM D1653- 93: Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico, descrito por (Pérez, 2019) en su trabajo de investigación con el tema: OBTENCIÓN DE BIOFILM A PARTIR DEL ALMIDÓN DE ZANAHORIA BLANCA (ARRACACIA XANTHORRHIZA) Y DE CAMOTE (IPOMOEA BATATAS) COMO ALTERNATIVA AL USO DE MATERIAL PLÁSTICO DERIVADO DE PETRÓLEO. El cuál describe la siguiente fórmula para determinar la permeabilidad al vapor de agua de la lámina de plástico biodegradable.

**Ecuación 11:**

$$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$$

En donde:

- $P_2$ : Peso de la lámina final.
- $P_1$ : Peso de la lámina inicial.
- E: espesor de la lámina.
- T: tiempo de determinación.
- pv: presión de vapor del proceso.
- $\varphi_1$ : Humedad relativa al interior de la celda.

- φ2: Humedad relativa de la cámara con NaCl saturado

Este análisis se realizó por triplicado y el procedimiento consiste en:

- Medir el diámetro de los tubos de ensayo
- Recortar las láminas de plástico de 3 x 3 cm y pesar a cada una.
- Dejar activando la sílica gel (SiO) por 24 horas hasta obtener una humedad relativa del 0%.
- Cortar muestras de los bioplásticos por cada tratamiento de 2,5 x 2,5.
- Llenar los tubos de ensayo con las  $\frac{3}{4}$  de la sílica gel.
- Con las muestras cortadas sellar el tubo en el que se añadió la sílica gel con cinta masking, asegurándose que no existan fugas.
- Colocar una solución salina en la base del desecador.
- Pesar los tubos.
- Ingresar los tubos ya sellados en el desecador que poseen una humedad relativa del 50 % y dejar por una hora.
- Tomar los pesos de las muestras cada hora durante 6 horas.
- Reportar datos

#### *2.7.4.6 Pruebas de tracción o deformación del bioplástico*

Esta prueba se la realiza en el laboratorio LenMav, y analiza la tracción, resistencia, fuerza de flexión entre otros; basándose en la norma NTE- INEN 2635:012.

Para el análisis de esta prueba se requiere entregar muestras de probetas de bioplástico por cada tratamiento, que presenten las siguientes dimensiones:

- Ancho: 13-25,80 mm
- Longitud: 152 mm.

#### *2.7.4.7 Prueba de biodegradabilidad o de compost*

Para realizar el análisis de la biodegradabilidad, se utilizó el programa estadístico ImageJ, que calcula la disminución por áreas a partir de una unidad de referencia, en la que se utilizó fotografías de las muestras de bioplástico con dimensiones de 3x3 cm, sometidas durante un mes bajo las condiciones ambientales agua, aire y tierra.

Las fotografías fueron tomadas en la misma posición, reportadas semanalmente por cada tratamiento con 4 repeticiones cada una y se calculó en base a la metodología establecida por

(Romero, 1997), el cual describe el procedimiento del cálculo del porcentaje de biodegradación por pérdida de peso bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas realizadas durante el ensayo.

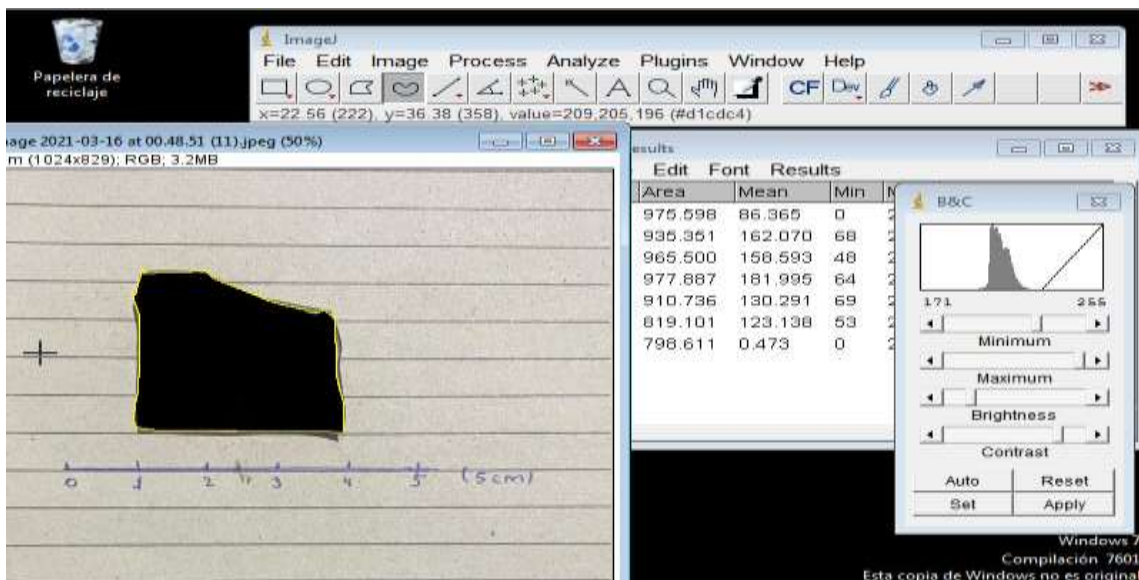
Se calculó el porcentaje por disminución de áreas según la siguiente fórmula acoplada a la del porcentaje por pérdida de peso:

**Ecuación 12:**

$$\% \text{ Perdida de área} = \frac{[\text{área inicial} - \text{área final}] * 100}{\text{área inicial}}$$

$$\% \text{ Perdida de área} = \frac{[9 - 0,45] * 100}{9}$$


$$\% \text{ Perdida de área} = 95\%$$



**Figura 2-7.** Cálculo de disminución de áreas en el programa ImageJ

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

A continuación en la Tabla 2-9, se detalla la metodología para evaluar la biodegradación de las muestras de plástico:

| <b>Tabla 2-9. Método de la evaluación de la biodegradación del bioplástico</b> |              |  |   |
|--|--------------|--|---|
| <b>No</b>  | <b>Medio</b> | <b>Procedimiento</b>   | <b>Evidencia fotográfica</b>  |
| 1  | AGUA         | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Añadir una cantidad de agua de aproximadamente 150 mL hasta el límite del recipiente.</li> <li>➤ Determinar el área de la muestra de 3x3 del bioplástico.</li> <li>➤ Añadir la muestra de bioplástico al recipiente.</li> <li>➤ Inspeccionar la evolución diariamente tomando el área por 30 días.</li> </ul>   |    |
| 2  | AIRE         | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tomar el área de la muestra del bioplástico.</li> <li>➤ Añadir a la bandeja de aluminio.</li> <li>➤ Revisar diariamente la muestra tomando el área por 30 días.</li> </ul>  |    |
| 3  | SUELO        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Añadir una capa de tierra de aproximadamente 2 cm de base en el recipiente de plástico.</li> <li>➤ Determinar el área de la muestra de 3x3 del bioplástico.</li> <li>➤ Añadir la muestra a la capa añadida y tapar con más tierra hasta cubrir aproximadamente 5 cm del recipiente.</li> <li>➤ Revisar diariamente y determinar el área de la muestra por 30 días.</li> </ul> |  |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.



## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.2 Resultados obtenidos de la aplicación del diseño factorial $2^k$ para determinar el mejor rendimiento del almidón de cáscara de yuca por vía húmeda

El mejor rendimiento porcentual obtenido de la extracción del almidón proveniente de la cáscara de yuca por el método húmedo fue de 28,26 %, valor resultante del tercer tratamiento del diseño factorial  $2^k$ , que trabajó con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, según la metodología de (Maulida et al, 2016, pp.1-7) que inició con la selección de materia prima tomada por cuarteo, seguido de un lavado minucioso para eliminar la tierra, insectos u otros contaminantes; además de que el éxito de la obtención del almidón fue el remojo en una solución antipardeamiento con ácido cítrico, ya que con este proceso se llegó a evitar la oxidación del producto que tiende a contaminarse rápidamente y a la vez ayuda con el desprendimiento del color rojizo característico de la cáscara de yuca para así brindar una coloración más clara al almidón. De esta manera se utilizó 300 gramos de residuo de yuca mezclado con 500 mL de agua a 30 segundos y con la velocidad más alta de la licuadora, estableciendo que a partir de estos resultados, preferiblemente se debe trabajar con un tiempo menor de homogenización y a la máxima velocidad para obtener un buen rendimiento, ya que los valores reportados en los tratamientos no presentan notable diferencia entre sí. Además se identificó mediante el test estadístico ANOVA, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, ya que presentó una interacción de probabilidad (0,388) mayor al porcentaje de error permitido (0,050). Así se muestran los resultados en las siguientes tablas:

**Tabla 3-1.** Datos obtenidos de la aplicación del diseño factorial 2<sup>K</sup> para determinar el mejor rendimiento del almidón de cáscara de yuca por vía húmeda

| No. | TRATAMIENTO | VARIABLES  | REPETICIÓN | VOLUMEN AGUA (mL) | PESO (g) |         |          | RENDIMIENTO (%) |          | TIEMPO SECADO (H) |       |
|-----|-------------|------------|------------|-------------------|----------|---------|----------|-----------------|----------|-------------------|-------|
|     |             |            |            |                   | PRODUCTO | ALMIDÓN |          | R               | PROMEDIO |                   |       |
|     |             |            |            |                   |          | R       | PROMEDIO |                 |          |                   | TOTAL |
| 1   | T1          | RPM 1 : 30 | R1         | 500               | 300      | 54,33   | 54,875   | 219             | 18,109   | 18,292            | 48    |
| 2   |             |            | R2         |                   |          | 54,83   |          |                 | 18,278   |                   |       |
| 3   |             |            | R3         |                   |          | 55,61   |          |                 | 18,537   |                   |       |
| 4   |             |            | R4         |                   |          | 54,73   |          |                 | 18,242   |                   |       |
| 5   | T2          | RPM 1 : 45 | R1         |                   |          | 55,07   | 56,625   | 227             | 18,357   | 18,875            | 48    |
| 6   |             |            | R2         |                   |          | 46,06   |          |                 | 15,353   |                   |       |
| 7   |             |            | R3         |                   |          | 63,94   |          |                 | 21,313   |                   |       |
| 8   |             |            | R4         |                   |          | 61,43   |          |                 | 20,477   |                   |       |
| 9   | T3          | RPM 2 : 30 | R1         |                   |          | 96,57   | 84,780   | 339             | 32,19    | 28,260            | 60    |
| 10  |             |            | R2         |                   |          | 79,42   |          |                 | 26,473   |                   |       |
| 11  |             |            | R3         |                   |          | 82,02   |          |                 | 27,339   |                   |       |
| 12  |             |            | R4         |                   |          | 81,11   |          |                 | 27,037   |                   |       |
| 13  | T4          | RPM 2 : 45 | R1         |                   |          | 69,52   | 78,985   | 316             | 23,174   | 26,328            | 60    |
| 14  |             |            | R2         |                   |          | 70,43   |          |                 | 23,476   |                   |       |
| 15  |             |            | R3         |                   |          | 96,57   |          |                 | 32,191   |                   |       |
| 16  |             |            | R4         |                   |          | 79,42   |          |                 | 26,472   |                   |       |

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

**Tabla 3-2.** Análisis de resultados ANOVA para la extracción de almidón

| ANÁLISIS DE VARIANZA      |                   |                    |                           |        |              |                      |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F      | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Muestra                   | 303.511           | 1.000              | 303.512                   | 38.445 | 4,58348E-05  | 4.747                |
| Columnas                  | 1.818             | 1.000              | 1,818                     | 0.230  | 0,640        | 4.747                |
| Interacción               | 6.326             | 1.000              | 6,326                     | 0.801  | 0,388        | 4.747                |
| Dentro del grupo          | 94.735            | 12.000             | 7,895                     |        |              |                      |
| Total                     | 406.391           | 15.000             |                           |        |              |                      |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

El porcentaje de extracción de almidón proveniente de esta investigación, resulta ser un valor por arriba del reportado, si se lo compara con el rendimiento obtenido del trabajo de (Muñoz y Riera, 2020), ya que en esta investigación se obtiene un rendimiento del 10 % por vía húmeda. En el estudio realizado por (Guamán, 2019), el rendimiento del almidón de cáscara de papa realizado por extracción por decantación natural fue de 8,31%, valor mucho menor que el obtenido en esta investigación si se lo compara con otro tipo de residuo, dando como resultado que los residuos de yuca son una buena opción para poder extraer almidón y utilizarlo en procesos industriales como es la elaboración de biopolímeros.

### 3.3 Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del almidón

**Tabla 3-3.** Parámetros analizados del almidón de cáscara de yuca

| No. | PARÁMETROS                    | UNIDADES | VALOR  | ESTÁNDAR    | NORMA / INSTITUCIÓN |
|-----|-------------------------------|----------|--------|-------------|---------------------|
| 1   | Humedad                       | %        | 12,64  | 0,9-15%     | AOAC 925.10, 2000   |
| 2   | Ceniza                        |          | 2,41   | <2%         | NTE INEN-ISO 3593   |
| 3   | Solubilidad                   | %        | 3,6    | 0,27-12,32  | FAO (Anderson,1969) |
| 4   | pH                            |          | 5,568  | 5,0-7,0     | NTE INEN 1456:1986  |
| 5   | Fibra                         | %        | 0,661  | 12 ± 1,30   | NTE INEN 2725       |
| 6   | Proteína                      | %        | 0,337  | 8,80 ± 1,00 | NTE INEN 2725       |
| 7   | Viscosidad                    | cP       | 3248,6 | 840-1500 cP | FAO (Smith,1997)    |
| 8   | Temperatura de gelatinización | °C       | 74     | 57,5-70 °C  | FAO (Grace,1977)    |
| 9   | Carbohidratos Totales         | %        | 78,95  | 70-80 %     | FAO                 |

|    |                    |       |       |           |                        |
|----|--------------------|-------|-------|-----------|------------------------|
| 10 | Amilosa            | %     | 32,61 | 17-24 %   | MOLSAIA-04/INIAP       |
| 11 | Amilopectina       | %     | 67,39 | 76-83 %   | NTE INEN-ISO 6647-1    |
| 12 | Hongos             | UPC/g | 0     | 1000-5000 | ICONTEC (1997),<br>FAO |
| 13 | Levaduras y mohos  | UPC/g | 0     | 1000-5000 | ICONTEC (1997),<br>FAO |
| 14 | Coliformes totales | UPC/g | 0     | <10       | ICONTEC (1997),<br>FAO |

**Fuente:** Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

En la Tabla 3-3, se presentan los valores referenciales para la caracterización fisicoquímica y microbiológica del almidón de residuos de yuca; estos parámetros se establecen después de haber extraído el almidón y haber realizado los análisis en el laboratorio por triplicado, logrando determinar que la mayoría de los resultados están dentro del rango según las respectivas fuentes bibliográficas consultadas.

Con respecto a la humedad del almidón se tiene un valor de 12,64%, que al compararlo con otras investigaciones, según (Brito et al, 2021) la humedad del almidón a base de yuca es de 10,96%, identificando que el almidón proveniente de la corteza y el fruto de la yuca, no varía significativamente en el porcentaje de humedad, además en el estudio de (Muñoz et al., 2020), se obtuvo un porcentaje de humedad del almidón de residuos de yuca por el método húmedo de 9,48%, así mismo el trabajo de (Alvis et al., 2008) presentó valores de 7,80 a 8,47% de humedad del almidón de algunas variedades de yuca provenientes de Colombia y de 10,63% según (Luna et al., 2009), lo que permite concluir que la humedad proveniente de la yuca se encuentra en un rango aceptable dependiendo al tipo y condición en que se encuentre, ya que a mayor contenido de humedad, mayor será el deterioro del producto y menor su resistencia, debido a la hidrofiliidad que presenta el almidón.

En cuanto al análisis de ceniza se obtuvo un valor de 2,41%, logrando determinar que este parámetro está ligeramente fuera del rango establecido por la norma, y si se lo compara con el porcentaje de ceniza del estudio de (Brito et al, 2021) que es de 0,112 % para el almidón de yuca; y el de (Muñoz y Riera, 2020) que es de 2,3% para almidón de residuos de yuca, se logró identificar que las diferencias existentes para el porcentaje de cenizas de este producto, se debe a varios factores que pueden ser las distintas variedades de yuca, el proceso de extracción o netamente sus propiedades químicas. Otros de los parámetros analizados fueron la solubilidad y el pH del almidón, obteniendo valores de 3,6% para la solubilidad y 5,6 de pH, mismos que se encuentran dentro de los límites requeridos, y que al compararlos con los valores entregados por (Brito et al., 2021) que reportó 10,96% de solubilidad y 5,85 de pH para el almidón de yuca, se logró determinar que los valores obtenidos de esta investigación no presentan mucha variación con respecto al pH pero si en cuanto al porcentaje de solubilidad, contraste a los resultados de la investigación de

(Muñoz y Riera, 2020) que reportó valores de 6,41 a 9,33 de pH al caracterizar el almidón de tres variedades de yuca, identificando que dicha variación se debe al grado de maduración del producto.

Para el análisis de fibra y proteína se obtuvo experimentalmente un valor de 0,661 para fibra y un valor de 0,337 para la proteína, valores que se encuentran por debajo de la norma establecida para el almidón soluble. Cabe añadir que en el estudio de (Muñoz y Riera, 2020) la proteína de harina de cáscara de yuca presenta valores de 3,97%; 4,04% y 5,62%, logrando identificar que los residuos de la yuca contienen valores muy bajos de fibra y proteína. Por otro lado para la viscosidad se obtuvo un valor de 3248.6 cP, lo que quiere decir que este valor no se encuentra dentro de la norma. Según la FAO los cambios en la viscosidad del almidón, son debido al deterioro poscosecha de la yuca, que esta es mayor en las raíces a los pocos días después de la cosecha que en las raíces recién cosechadas.

Se determinó la temperatura de gelatinización basada en los valores reportados por la FAO, con un rango de 57,5-70°C, obteniendo así un valor de 74°C, que al compararlo con la temperatura de gelatinización del almidón de yuca del estudio de (Brito et al., 2021) que reportó un valor de 66,20 °C, se encuentra por encima del límite de referencia. Esta condición se debe al aumento en el poder de hinchamiento y la absorción de agua, que es una magnitud en donde interactúan las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas, descrito por (Muñoz y Riera, 2020). Y para los carbohidratos totales se basó en la norma de la FAO, obteniendo un valor de 78,95%, que se encuentra dentro de la norma que va del 70-80%, de la misma manera se determina el porcentaje de amilosa y amilopectina, que para este estudio se lo analizó del informe otorgado por la INIAP, el cual se basó en la norma NTE INEN-ISO 6647-1, con un valor estándar del 25-30% para la amilosa y el resultado obtenido del almidón de residuos de yuca fue de 32,61% por lo que su valor se encuentra ligeramente por encima de la norma. Para determinar el porcentaje de amilopectina, se resta la amilosa del 100%, obteniendo un valor de 67,39%. Además es importante conocer que el contenido de amilosa afecta la gelatinización y retrogradación del almidón, de manera que influye en la formación y durabilidad de las láminas.

Por último para evaluar la calidad microbiológica de la muestra de almidón de cáscara de yuca, fue necesario realizar un análisis microbiológico en el laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, bajo lo especificado según la FAO para identificar la presencia de microorganismos patógenos que podrían afectar la calidad del producto, obteniendo de esta manera valores satisfactorios que cumplen con los parámetros establecidos en la norma, al obtener un valor de 0 UPC/g en hongos cuyo valor de referencia es <10; un valor de 0 UPC/g en levaduras y mohos con un valor de referencia de 1000-5000 UPC/g y finalmente para coliformes totales con un valor de 0 UPC/g, asegurando de esta forma que el producto fue elaborado con altos estándares de calidad y es seguro para el consumo humano.

### 3.4 Resultados de la caracterización física, proximal y organoléptica de la materia prima

La caracterización física de la yuca, consistió básicamente en utilizar una población de 5 ejemplares de yuca similares tanto en longitud como en grosor y tomar sus medidas promedio, se retiró la cáscara del tubérculo y se determinó el peso de la materia prima a través de la cual se obtuvo los resultados que se muestran a continuación:



**Figura 3-1.** Muestreo de la materia prima (cáscara de yuca blanca)

Realizado Por: Chimbo Valeria, 2021.

**Tabla 3-4.** Resultados de los análisis físicos realizados a la materia prima

| No.             | CÁSCARA DE YUCA BLANCA |               |               |
|-----------------|------------------------|---------------|---------------|
|                 | PESO CÁSCARA (g)       | LONGITUD (cm) | DIÁMETRO (cm) |
| 1               | 135,656                | 24,18         | 5,80          |
| 2               | 105,122                | 24,07         | 6,20          |
| 3               | 152,136                | 28,33         | 6,54          |
| 4               | 88,048                 | 28,50         | 6,98          |
| 5               | 148,273                | 27,00         | 6,30          |
| <b>PROMEDIO</b> | 125,847                | 26,42         | 6,36          |

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Los resultados obtenidos del análisis físico realizado a la materia prima presentaron una longitud promedio de 26,42 cm; un diámetro promedio de 6,36 cm y un peso promedio de 12,85 g, valores similares con la investigación de (Brito et al, 2021) que reporta una longitud promedio de 25,3 cm y un diámetro promedio de 6,75 cm.

**Tabla 3-5.** Caracterización organoléptica de la cáscara de yuca

| No. | PRODUCTO (CÁSCARA DE YUCA) |
|-----|----------------------------|
|-----|----------------------------|

|   | Característica  |                    |
|---|-----------------|--------------------|
| 1 | Olor            | Neutro             |
| 2 | Sabor           | Amargo             |
| 3 | Color           | Rojizo-blancuecino |
| 4 | Textura interna | Dura-rugosa        |
| 5 | Textura externa | Dura-rugosa        |

**Fuente:** Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

Del análisis de las características organolépticas o sensoriales de la materia prima de la Tabla 3-5, se obtuvo los siguientes resultados: la cáscara de yuca tenía un color blanco con rojizo en la parte externa característico de estos tubérculos, así como un sabor amargo, un olor neutro y una textura dura-rugosa propia del producto analizado.

A la materia prima (cáscara de yuca), se realizaron análisis fisicoquímicos, realizados por triplicado en base a los métodos INEN y AOAC (2000). Mediante estos análisis se comprueba si las características de los residuos de la yuca varían o no con respecto a los valores establecidos para la pulpa de yuca, determinando si existe diferencia significativa en cuanto a sus valores como materia precursora para la obtención de láminas biodegradables, ya que estas características influyen de manera abrupta en la calidad del producto final, dando como resultado lo siguientes datos:

**Tabla 3-6.** Análisis proximal de la cáscara de yuca

| No. | PARÁMETROS            | UNIDADES | VALOR | ESTÁNDAR   | NORMA / INSTITUCIÓN   |
|-----|-----------------------|----------|-------|------------|-----------------------|
| 1   | Humedad               | %        | 26,68 | 63,1%      | AOAC 925.10, 2000     |
| 2   | Ceniza                | %        | 5,33  | <2%        | AOAC 923.03, 2000     |
| 3   | Solubilidad           | %        | 14,42 | 0,27-12,32 | NTE INEN<br>1456:1986 |
| 4   | pH                    |          | 5,38  | 5,5-7,5    | FAO (ISI,1999)        |
| 5   | Carbohidratos Totales | %        | 63.11 | 70-80 %    | A.O.A.C (1984).       |
| 6   | Materia seca          | %        | 43    | <34        | ICONTEC (2002)        |

**Fuente:** Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

En la Tabla 3-6, se muestran los resultados de la caracterización proximal de la cáscara de yuca, cuyos valores según (Barragán et al. 2002) para la materia seca deben ser superiores al 34%, en este caso se obtuvo un 43%. Por otro lado, en cuánto al contenido de cenizas al realizar la caracterización del residuo se obtuvo un promedio de 5,33%, valor que se encuentra entre los rangos obtenidos de investigaciones similares si se los compara con los datos del estudio de (Vega, 2016, p.23) que determinó que el contenido de proteína y ceniza para la cáscara de yuca, están entre

1,2 y 2,3 % respectivamente; así mismo en otro estudio similar se obtuvo valores de 7,1 a 8,1% para proteína y 3,1 al 9% para cenizas, valores trabajados para distintos tipo de cascaras de yuca que son cultivadas en Tanzania, y por último en otra investigación, los contenidos de proteína y cenizas fueron de 2,06 y 0,30%, respectivamente para residuos de yuca cosechadas en Indonesia que provienen de una industria dedicada a la extracción del almidón. De igual forma se obtuvo el valor de humedad de la materia prima, en el que se tomo como referencia al porcentaje de humedad de la Tabla de Composición de los Alimentos Ecuatorianos, que posee un valor de 63,1% de humedad para la yuca, diferenciándose del valor del residuo, ya que en esta investigación se obtuvo un valor de 26,68% y un pH de 5,38.

De la investigación de (Segura y Velásquez, 2020, p.18) se conoce que el residuo de la cáscara de yuca, es uno de los subproductos agroindustriales más estudiados seguido de la cáscara de arroz en cuanto a trabajos de investigación para producir biopolímeros, esto se debe al contenido proximal en su estructura que según este estudio posee un porcentaje de almidón de 29,84%, un porcentaje de lignina de 10.88%, un valor de 5,29% para la proteína cruda y 3,70% de cenizas. Por lo que se concluye de este análisis, que el residuo de yuca es una materia prima muy conveniente debido a su costo y que entre sus características están ser un material renovable y biodegradable, que al no ser explotado adecuadamente por las industrias genera muchos residuos contaminantes.

En general se puede afirmar que algunos parámetros proximales analizados en este trabajo, están acorde a lo reportado por otros autores, pese a que no existe información relevante realizada en nuestro país con respecto a la caracterización de los residuos agroindustriales; y que los resultados varían de acuerdo a la variedad del producto y al lugar de procedencia, es decir a las condiciones de cosecha, el tiempo, la localización, el cultivo etc; sin embargo presentan características potenciales para conseguir productos de alto valor agregado.

### **3.5 Determinación del tratamiento óptimo según el diseño experimental 2<sup>k</sup> y evaluación sensorial del bioplástico**

Una vez extraído el almidón de cáscara de yuca, se procede a realizar pruebas preliminares para encontrar la mejor formulación y obtener así un bioplástico de buenas características que pueda ser empleado industrialmente de acuerdo a las condiciones requeridas. De esta manera se realizaron varias pruebas para determinar el porcentaje de almidón que será necesario a utilizar en la elaboración del bioplástico, se trabajó variando el porcentaje de almidón con la misma cantidad de glicerina, agua y ácido acético, bajo las mismas condiciones, obteniendo los siguientes resultados:



**Tabla 3-7.** Ensayos preliminares para obtener bioplástico a partir de la cáscara de yuca

| No | % Almidón | Facilidad de moldeo | Forma películas | Transparencia | Estabilidad |
|----|-----------|---------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1  | 10        | No                  | Si              | Si            | No          |
| 2  | 20        | Si                  | Si              | Si            | Si          |
| 3  | 30        | Si                  | Si              | No            | No          |
| 4  | 40        | Si                  | No              | No            | No          |

Realizado por: Chimbo, Valeria. 2021.

Las formulaciones una, tres y cuatro, se las descartó ya que no tenían buena estabilidad ni resistencia; características esenciales de un buen bioplástico. Las formulaciones tres y cuatro formaban películas débiles, quebradizas y con un aspecto muy opaco. No obstante, la primera formulación presento buen aspecto translúcido, pero formaba una película quebradiza no resistente y de difícil moldeo.

Estos resultados evidenciaron que la formulación 2 es la mejor, ya que cumple con todos los atributos sensoriales típicos del bioplástico. Siendo este resultado el que se consideró para la posterior elaboración de las láminas de bioplástico con una formulación más idónea y su respectiva caracterización.

Una vez realizados los ensayos preliminares se procedió a realizar las formulaciones finales del bioplástico, basándose en el diseño factorial  $2^2$ , en donde se manipuló la cantidad de glicerina y ácido acético, y se mantuvo constante la cantidad de 2 gramos de almidón y 30 mL de agua; variando la glicerina entre 1 y 0,5 mL y el ácido acético entre 5 y 6 mL, presentados en la Tabla 3-8, así se realizaron 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, obteniéndose así un total de 16 biopelículas.

**Tabla 3-8.** Formulaciones realizadas basándose en el diseño factorial  $2^k$ 

| Formulación | MATERIA PRIMA           |           |                    |                |
|-------------|-------------------------|-----------|--------------------|----------------|
|             | Almidón del residuo (g) | Agua (mL) | Ácido acético (mL) | Glicerina (mL) |
| 1           | 2                       | 30        | 6                  | 1              |
| 2           | 2                       | 30        | 6                  | 0.5            |
| 3           | 2                       | 30        | 5                  | 1              |
| 4           | 2                       | 30        | 5                  | 0.5            |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Se puede observar en la Tabla 3-9; las características cualitativas sensoriales del bioplástico, en donde se realiza el análisis por separado de cada muestra.

**Tabla 3-9.** Resultados del análisis sensorial de las formulaciones del bioplástico

| No | Tratamiento | Variable  | Repetición | Moldeo | Forma Película | Transparencia     | Estabilidad |
|----|-------------|-----------|------------|--------|----------------|-------------------|-------------|
| 1  | T1          | CA1 : CG1 | R1         | Si     | Si             | Ligeramente opaco | Inestable   |
| 2  |             |           | R2         | Si     | Si             | Ligeramente opaco | Inestable   |
| 3  |             |           | R3         | Si     | Si             | Ligeramente opaco | Inestable   |
| 4  |             |           | R4         | Si     | Si             | Ligeramente opaco | Inestable   |
| 5  | T2          | CA1 : CG2 | R1         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 6  |             |           | R2         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 7  |             |           | R3         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 8  |             |           | R4         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 9  | T3          | CA2 : CG1 | R1         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 10 |             |           | R2         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 11 |             |           | R3         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 12 |             |           | R4         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 13 | T4          | CA2 : CG2 | R1         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 14 |             |           | R2         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 15 |             |           | R3         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |
| 16 |             |           | R4         | Si     | Si             | Opaco             | Estable     |

**Fuente:** Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2021.

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

Se realizó el análisis sensorial del bioplástico mediante el estudio organoléptico, asignándole propiedades cualitativas a las láminas obtenidas de esta investigación, en las cuales se analizaron el aspecto, la textura, la flexibilidad, si forma película, si tiene moldeo y la resistencia, para obtener una biopelícula de buena calidad, ya que según (Guamán, 2019, p.50) cuando las láminas presentan un aspecto translucido, liso y mantienen una buena flexibilidad y resistencia; son catalogadas como buenas, de esta manera se puede determinar según los resultados de la Tabla 3-9, que las láminas obtenidas presentan buenas características de estabilidad, resistencia y moldeo pese a su coloración obtenida a excepción del tratamiento 1 que presentó inestabilidad y poca resistencia al momento de desmoldarlo.

La coloración de las láminas tuvieron un aspecto ligeramente opaco, debido a los colorantes propios de la materia prima utilizada en los tratamientos, ya que al momento de la filtración del almidón con el sobrenadante, si no se realiza una exhaustiva y apropiada filtración, se pasaban los pigmentos contenidos en la mezcla confiriéndole dicha coloración al almidón, ya que este tipo de almidón tiene un poder hidrofílico muy elevado.

### 3.6 Resultados de la caracterización de bioplásticos: Ensayos físicos, mecánicos y de biodegradabilidad

#### 3.6.1 Resultados y discusión del análisis físico del bioplástico

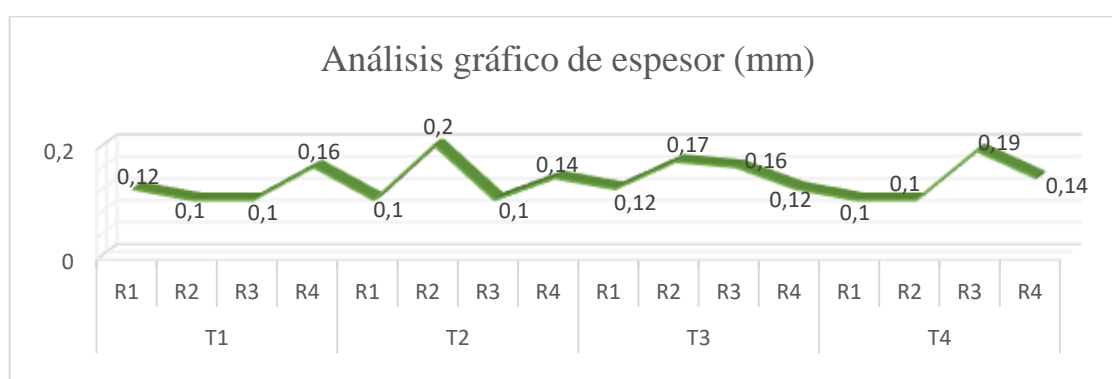
En la siguiente tabla, se observa los valores de espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de las muestras de bioplástico, determinados experimentalmente para los cuatro tratamientos realizados en el diseño factorial  $2^k$  y su límite de referencia estimado bibliográficamente.

**Tabla 3-10.** Resultados del ensayo físico del bioplástico

| No. | Tratamiento          | Espesor (mm)              | Humedad (%)                                     | Solubilidad (%)                     | Permeabilidad al vapor de agua |
|-----|----------------------|---------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1   | T1                   | 0,12                      | 23,1  | 43,32                               | 0,345                          |
| 2   | T2                   | 0,14                      | 26,6  | 41,76                               | 0,227                          |
| 3   | T3                   | 0,14                      | 18,38   | 35,64                               | 0,206                          |
| 4   | T4                   | 0,13                      | 21,15   | 41,04                               | 0,119                          |
| 5   | Promedio             | 0,13                      | 22,56   | 40,44                               | 0,224                          |
| 6   | Límite de referencia | < 1,0 mm<br>NTE INEN 2635 | 19,3-22,1%<br>INEN 1462<br>(Alimentarios, 2011) | 39,0-59,5 %<br>(Alimentarios, 2011) | (Joaqui y Villada, 2013, p.11) |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

##### 3.6.1.1 Análisis del espesor



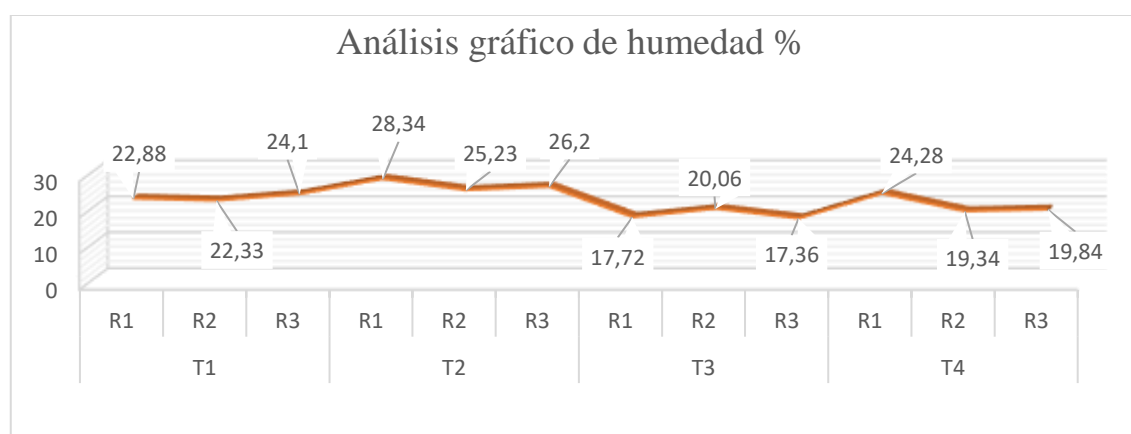
**Gráfico 3-1.** Análisis gráfico del espesor del bioplástico de almidón de cáscara de yuca

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Para la realización del ensayo se midió el espesor de las láminas con un micrómetro digital con una resolución de  $1 \mu\text{m}$ , tomando 10 medidas aleatoriamente por cada muestra y se promedió las mismas para obtener el valor exacto de este parámetro (Alimentarios, 2011). Este valor se basó en la

norma INEN 2635: Método de Ensayo para las Propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas., la cual mantiene el valor de referencia de <1,0 mm, y que al compararla con la investigación de (Guamán, 2019, p.60) y (Brito et al, 2021), que utilizaron la norma INEN 2422: 2010 para (Láminas plásticas requisitos), que establece que los bioplásticos deben tener un espesor máximo de 0,2 mm, se puede comprobar que los valores reportados en esta investigación, se encuentran dentro de los rangos establecidos para la obtención de biopelículas de buena calidad y para el uso en alimentos, ya que los valores del estudio de (Guamán, 2019, p.60), tienen en promedio un valor de 0,122 mm y el de (Brito et al, 2021), tiene un rango de 0,112 a 0,128 mm en sus láminas, verificando que los valores son muy similares en sus resultados.

### 3.6.1.2 Análisis de la humedad



**Gráfico 3-2.** Análisis gráfico de humedad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

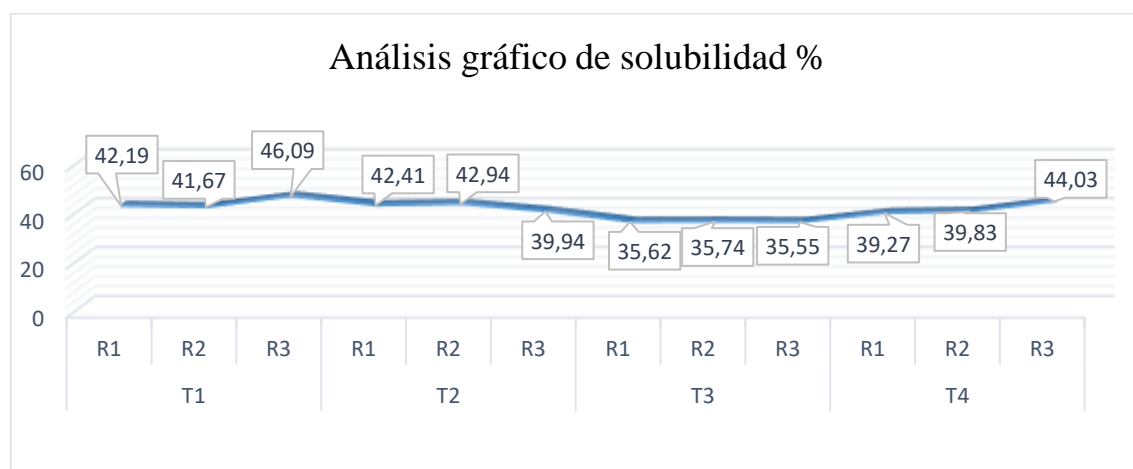
En el Gráfico 3-2, se muestra el porcentaje de humedad que se determinó para los 4 tratamientos del bioplástico de acuerdo a la ecuación para calcular el porcentaje de humedad según (Manzano Hernández, 2018) y se observa la variación que presentan los valores estimados por cada repetición. Para el análisis del porcentaje de humedad, se utilizó los valores de referencia de la Norma INEN 1462, la cual establece un rango de 19,3-22,1% para las láminas de bioplástico según la investigación de (Alimentarios, 2011), permitiendo determinar que los valores obtenidos experimentalmente en el laboratorio de las 16 muestras que se realizaron, expuestas en la Tabla 3-10, tuvieron un promedio de 22,56%, encontrándose este valor ligeramente por encima y fuera de norma, aunque al tratarse de un bioplástico proveniente de la cáscara de yuca, se puede decir que es un valor que concuerda con un porcentaje elevado de humedad, ya que según algunas investigaciones y pruebas en laboratorio se ha determinado que la cáscara seca de yuca al sumergirla en agua se rehidrata hasta 160 % de su peso en casi media hora, es decir es un material muy absorbente que puede utilizarse como modelo estructural para obtener un producto que

absorba agua residual o salobre, permitiendo con ello poder dar soluciones a grandes problemáticas que nos acompañan hoy en día. Cabe mencionar que el porcentaje de humedad varía según varios autores y depende del material con el que se trabaje, por ejemplo según el estudio de (Wang et al. 2013), los bioplásticos deben tener un rango de 25,95-42,71%, límites establecidos para obtener un biopolímero de buena calidad.

Por otro lado el porcentaje de humedad reportado por (Guamán, 2019, p.62), fue de 20,82 % para el bioplástico de almidón de cáscara de papa, valor normal dentro a lo establecido por la norma y si se lo compara con el valor de humedad de la biopelícula obtenida con cáscara de yuca se tiene que la humedad de estas láminas dependen mucho del tipo y características del material con el que se extraiga el almidón.

### 3.6.1.3 Análisis de la determinación de Solubilidad

En el siguiente gráfico se observa los valores promedio de la Tabla 3-10 para la solubilidad, mostrando cierta similitud entre los T1, T2 y T4, contraste al T3 que presentó un porcentaje de solubilidad significativamente menor a los otros tratamientos.



**Gráfico 3-3.** Análisis grafico de la solubilidad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

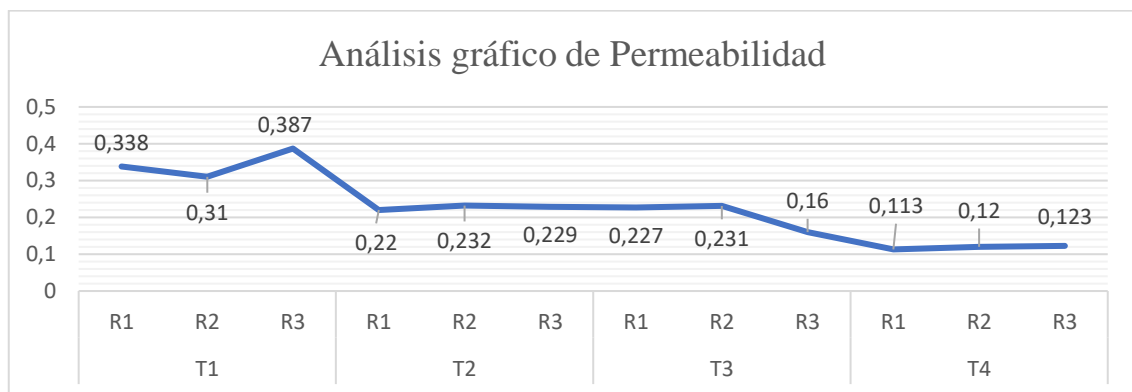
La solubilidad de las formulaciones realizadas para esta investigación bajo la determinación del análisis gravimétrico, nos dan una media de 40,44%, que según (Trujillo, 2014, p.38) nos indica en su estudio “Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca”, que los cantidades menores del 70% son utilizados en recubrimientos de alimentos, y porcentajes mayores son utilizados como recubrimientos solubles de capsulas en el área de medicina, obteniendo un valor de solubilidad aceptable para el fin al que se pretende dar, además de esto los resultados se encuentran dentro de la norma, la cual permite un rango de 39,0-59,5%,

mencionada por (Alimentarios, 2011), a excepción del T3 que presentó un valor menor a lo establecido, debido a que a mayor cantidad de plastificante, mayor va a ser el valor de la solubilidad obtenida en el bioplástico.

Comparando los valores de solubilidad con otras investigaciones similares, se logra determinar que el valor de solubilidad calculado es menor con respecto a otros productos empleados para la elaboración de las láminas biodegradables, por ejemplo en la investigación de (Brito et al., 2021, p.228), para polímeros a base de yuca, la solubilidad de sus tratamientos esta en un rango entre 42,9 y 70,7 % y en la tesis de (Pérez, 2019, p.51), el promedio de solubilidad de sus valores analizados es de 68%.

#### 3.6.1.4 Análisis de determinación de permeabilidad al vapor de agua

En el siguiente gráfico se puede observar como varia la permeabilidad del T1 al T4, manteniendo un equilibrio entre el T2 y T3; mientras que el T4 es menor a los otros tratamientos.



**Gráfico 3-4.** Análisis grafico de permeabilidad del bioplástico de almidón de cáscara de yuca

**Realizado por:** Chimbo Valeria, 2021.

La permeabilidad al vapor de agua, según (Pérez, 2019, p.33) se determinó bajo la norma de ASTM D1653- 93: Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico, señalando que los valores obtenidos experimentalmente en el laboratorio mostrados en la Tabla 3-10, son mayores a los reportados en otras investigaciones; y por tanto, al igual que en la solubilidad del bioplástico, a mayor concentración de plastificante, se presentará mayor permeabilidad en el bioplástico, ya que reduce las fuerzas intermoleculares en las cadenas del plástico, generando mayor movilidad molecular, lo que ocasiona la reducción del tiempo de vida del recubrimiento y por lo tanto de los alimentos (Joaqui y Villada, 2013, pp.59-68), lo que quiere decir que los tratamientos T1, T2 y T3 existirá mayor difusión de vapor de agua, y al momento de embalar algún alimento con las láminas, afectará sus características organolépticas y por lo tanto su calidad.

Al revisar el Gráfico 3-4, se puede observar como la variación del plastificante afecta a los datos, como se menciona en la investigación de (Guamán, 2019, p.22), que el poder hidrofílico del plastificante deja espacios intermoleculares que son ocupados por las moléculas de agua y por lo tanto ocurre mayor permeabilidad; es decir mantiene una estrecha relación con el comportamiento de la estructura de los bioplástico, ya que la permeabilidad de vapor debe ser menor, sino interfiere en el proceso de conservación de los alimentos embalados con este material.

### 3.7 Resultados y discusión del ensayo de tracción del bioplástico

Este ensayo se lo analiza mediante el informe entregado por el laboratorio LenMav ubicado en la ciudad de Riobamba, el mismo que se basó en la norma NTE- INEN 2635:012 y se puede apreciar las características del equipo utilizado que corresponden a:

- Equipo: Máquina Universal de ensayos (WAW600B)
- Marca: Jinan Liangong Testing Technology CO., LTD
- Serie: 7136
- Certificado: LNM-F-2016500064D
- CÓD IDENT: M2

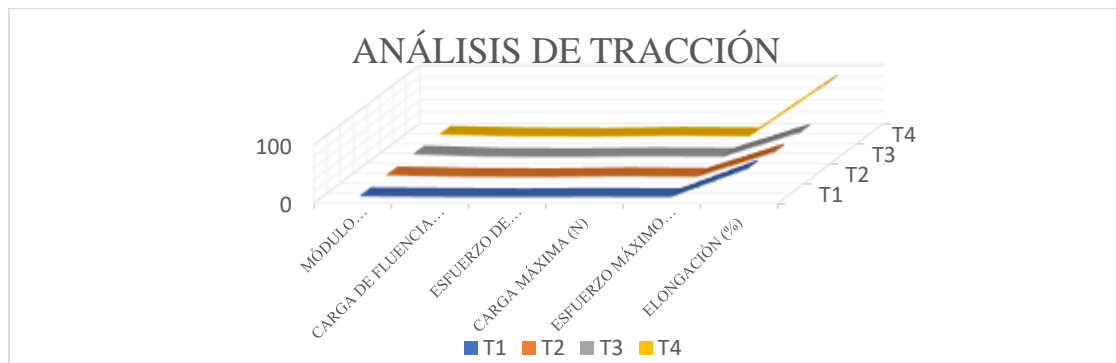
Los resultados entregados en el informe se visualizan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-11.** Resultados de la prueba de tracción del bioplástico

| TRATAMIENTO | MÓDULO ELASTICIDAD (MPa) | CARGA DE FLUENCIA (N) | ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa) | CARGA MÁXIMA (N) | ESFUERZO MÁXIMO (MPa) | ELONGACIÓN (%) |
|-------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| T1          | 2,569.E+00               | 1,51                  | 0,74                       | 1,65             | 0,81                  | 49,74          |
| T2          | 4,016.E+00               | 1,47                  | 0,85                       | 2,41             | 1,40                  | 43,29          |
| T3          | 5,598E+00                | 1,54                  | 1,04                       | 2,19             | 1,48                  | 43,13          |
| T4          | 4,997.E+00               | 2,04                  | 1,40                       | 3,23             | 2,21                  | 92,46          |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

En el gráfico de a continuación se logra visualizar que las pruebas mecánicas para el T1,T2 y T3 son similares, contraste al T4 que varía significativamente en el porcentaje de elongación, estos tratamientos fueron analizados con solo una repetición por cada tratamiento.



**Gráfico 3-5.** Análisis gráfico de la tracción del bioplástico

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021

Para realizar este análisis se basó en la norma NTE- INEN 2635:012, que determinan las propiedades mecánicas del bioplástico, así se puede observar en la Tabla 3-11, que los valores del módulo de elasticidad en MPa van incrementando dependiendo del tratamiento, y según (Pérez, 2019, p.56) "mientras mayor sea el módulo de elasticidad menor será su resistencia", dependiendo del procedimiento que es utilizado en la formulación del bioplástico con el aumento de la cantidad del plastificante, contraste a esto según (Brito et al., 2021, p.228), las láminas de plástico biodegradable que presentan mejores características para el uso en embalaje de alimentos, son los que tienen mayor valor en las propiedades de tracción, dicho esto el mejor tratamiento obtenido en la investigación es el T4, ya que es el tratamiento con mejores valores de tracción y a su vez en su formulación emplea la menor cantidad de aditivos, por lo tanto es de gran beneficio económico, brindando láminas de buena calidad y resistentes.

Otro aspecto a considerar es la carga de fluencia, que según el informe de (Granda et al., 2019, pp.32-33), es un factor importante, ya que es la deformación de la red cristalina de las biopelículas de la carga que soporta la placa de las probetas al aplicar fuerza. Según la investigación realizada se determina que el tratamiento con mayor carga de fluencia es el T4 con un valor de 2,04 N, debido a que esto depende de la cantidad de aditivos aplicados.

Además se analizó la carga máxima y el esfuerzo máximo del bioplástico, que al compararlo con el estudio de (Brito et al, 2021, p.229), que elaboró láminas de plástico biodegradable utilizando almidón a base yuca, con un valor de esfuerzo máximo de 1,44 MPa para su mejor tratamiento, se determinó que el valor reportado en esta investigación fue muy parecido al anteriormente mencionado, dando como resultado que el mejor tratamiento según este análisis es el tratamiento 4, ya que presenta una carga de fluencia de 3,23 N y un esfuerzo máximo de 2,21 MPa, lo que nos da la idea de que el esfuerzo máximo será más débil con una mayor concentración del plastificante añadido.

Por último el mayor porcentaje de elongación obtenido de las muestras de bioplástico, es de 92,46%, que al compararlo con el estudio de (Brito et al, 2021, p.229) que utilizó como materia prima



a la yuca y obtuvo 60,06% de elongación, se puede determinar que el porcentaje de elongación es mayor debido a la diferentes formulaciones que se mantienen, variando los plastificantes, que le confieren al bioplástico mayor rigidez o flexibilidad dependiendo a la cantidad utilizada. En resumen se puede determinar que las láminas obtenidas de cada tratamiento empleado en esta investigación, son muy buenas ya que poseen buena flexibilidad y según el estudio de (Guamán, 2019, p.45), el porcentaje de elongación idóneo para los bioplásticos debe estar entre 16,4-65,64 %, rango en los que se encuentran los T1, T2 y T3, a excepción del T4 que presenta un valor muy elevado comparándolo con los otros tratamientos y el rango sugerido.

### 3.8 Resultados para determinar el porcentaje de biodegradabilidad

Para determinar el porcentaje de biodegradación de las láminas se trabajó en tres diferentes condiciones ambientales: agua, aire y suelo, sometidas a un tiempo de exposición de 30 días por cada tratamiento basándose en la norma ISO 13432.

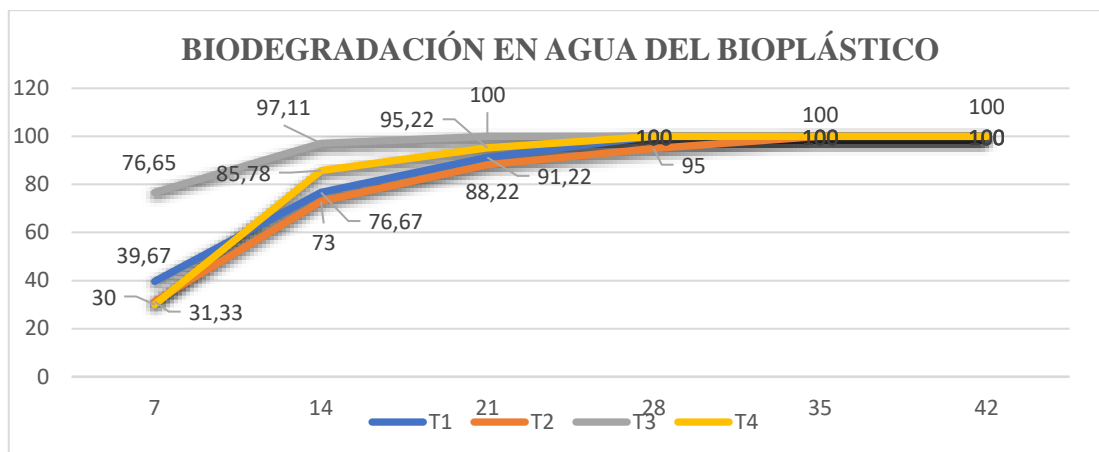
La disminución del porcentaje de degradación durante el tiempo de exposición de las muestras, es realizado mediante un cálculo por áreas, iniciando con un área conocida de 3x3 cm de las láminas de acuerdo a cada tratamiento y condición ambiental. Debido a las complicaciones presentadas al tomar los datos de las muestras por la acción de agentes externos como son la tierra, el polvo y el agua, mismos que interfieren con los valores reales de las láminas; se usó el programa estadístico ImageJ, herramienta que permite determinar el área mediante la introducción de fotografías, con la cual a través de la resolución de los pixeles transforma la escala en cm, para con ello obtener valores exactos y calcular el área de cada lámina a partir de una medida de referencia, tomadas las fotografías a la misma distancia.

**Tabla 3-12.** Resultados de la biodegradación de las láminas en agua

|    | BIODEGRADACIÓN EN AGUA |      |              |      |              |      |              |      |              |    |   |    |   |
|----|------------------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|----|---|----|---|
|    | 0.00                   | 7    | %            | 14   | %            | 21   | %            | 28   | %            | 35 | % | 42 | % |
| T1 | 9.00                   | 5.43 | <b>39.67</b> | 2.1  | <b>76.67</b> | 0.79 | <b>91.22</b> | -    | -            | -  | - | -  | - |
| T2 | 9.00                   | 6.18 | <b>31.33</b> | 2.43 | <b>73.00</b> | 1.06 | <b>88.22</b> | 0.45 | <b>95.00</b> | -  | - | -  | - |
| T3 | 9.00                   | 2.10 | <b>76.65</b> | 0.26 | <b>97.11</b> | -    | -            | -    | -            | -  | - | -  | - |
| T4 | 9.00                   | 6.30 | <b>30.00</b> | 1.28 | <b>85.78</b> | 0.43 | <b>95.22</b> | -    | -            | -  | - | -  | - |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

En el siguiente gráfico se puede observar que la biodegradación es similar entre los T1, T2, y T4, a excepción del T3 que difiere en los resultados de la primera semana.



**Gráfico 3-6.** Resultados de la biodegradación en agua del bioplástico

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

A continuación se observa el cambio de apariencia de las láminas ante la biodegradación en agua expuestas por 42 días.

➤ **Cambios de apariencia de las láminas ante la biodegradación en agua**

| Biodegradación en agua  |   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|---|--|---|---|
| Día 1   | Día 7   | Día 14  | Día 21  | Día 28   | Día 35  | Día 42  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

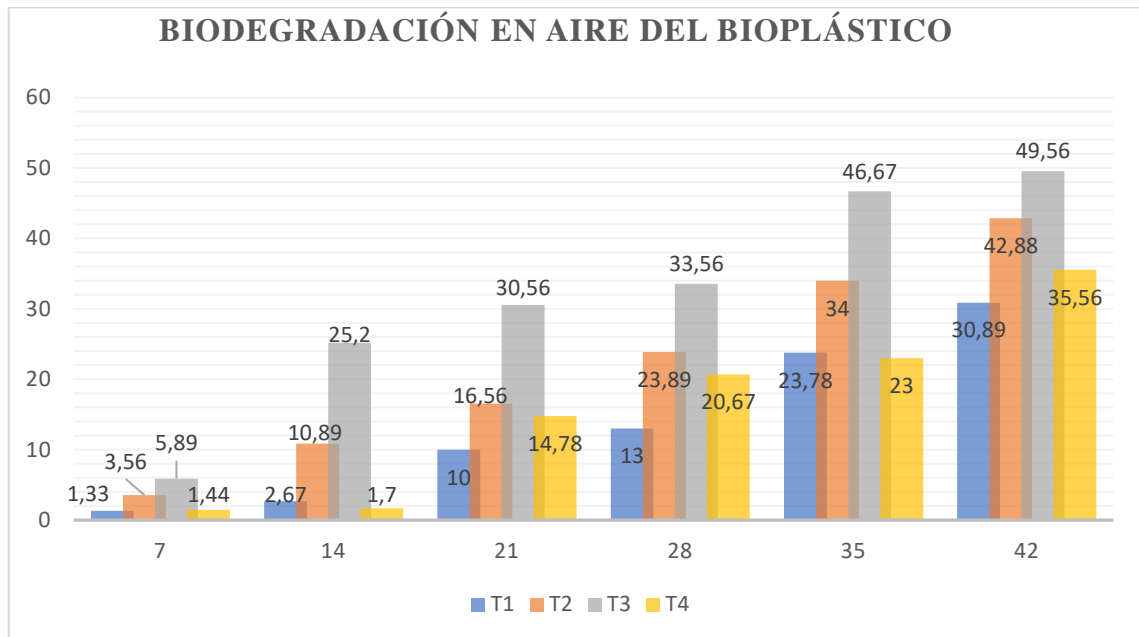
El mayor porcentaje de biodegradación en agua fue de 97,11% a los 14 días para el tratamiento 3, pese a que los demás tratamientos presentaron valores muy parecidos entre sí y mediante el Gráfico 3-6 se puede apreciar que la curva es constante y muy parecida en los T1, T2 y T4; diferenciándose el T3 que comenzó degradándose con mayor facilidad y en un menor tiempo, teniendo en cuenta que los factores principales que influyen en esta degradación es el pH, la temperatura y la humedad.

**Tabla 3-13.** Resultados de la biodegradación de las láminas expuestas al aire

| N° | BIODEGRADACIÓN EN AIRE |      |             |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |
|----|------------------------|------|-------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|
|    | 0.00                   | 7    | %           | 14   | %            | 21   | %            | 28   | %            | 35   | %            | 42   | %            |
| T1 | 9.00                   | 8.88 | <b>1.33</b> | 8.76 | <b>2.67</b>  | 8.10 | <b>10.00</b> | 7.83 | <b>13.00</b> | 6.86 | <b>23.78</b> | 6.22 | <b>30.89</b> |
| T2 | 9.00                   | 8.68 | <b>3.56</b> | 8.02 | <b>10.89</b> | 7.51 | <b>16.56</b> | 6.85 | <b>23.89</b> | 5.94 | <b>34.00</b> | 5.14 | <b>42.88</b> |
| T3 | 9.00                   | 8.47 | <b>5.89</b> | 6.73 | <b>25.2</b>  | 6.25 | <b>30.56</b> | 5.98 | <b>33.56</b> | 4.80 | <b>46.67</b> | 4.54 | <b>49.56</b> |
| T4 | 9.00                   | 8.87 | <b>1.44</b> | 8.85 | <b>1.70</b>  | 7.67 | <b>14.78</b> | 7.14 | <b>20.67</b> | 6.93 | <b>23.00</b> | 5.80 | <b>35.56</b> |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

En el siguiente gráfico se determina la variación de biodegradación en el aire, para los 4 tratamientos de las láminas de plástico, logrando visualizar que el T3 predomina con un mayor porcentaje de degradación al transcurrir los días, contraste al T1 que no tuvo significativa degradación en los primeros días, presentando el menor porcentaje de degradación, como se muestra a continuación:



**Gráfico 3-7.** Resultados de la biodegradación en aire del bioplástico

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

A continuación se observa el cambio de apariencia de las láminas ante la biodegradación en aire expuesta por 42 días.

➤ **Cambios de apariencia de las láminas ante la biodegradación en aire**

| Biodegradación en aire |       |        |        |        |        |        |
|------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Día 1                  | Día 7 | Día 14 | Día 21 | Día 28 | Día 35 | Día 42 |
|                        |       |        |        |        |        |        |

Realizado por: Chimbo, Valeria. 2021

Para la degradabilidad en aire se determinó de acuerdo a los valores de la Tabla 3-13, que el mejor tratamiento fue el tratamiento 3 con un valor del 49.56% a los 42 días siendo menos de la mitad de la degradación esperada, esto es debido a que al exponerse a un ambiente aeróbico sin

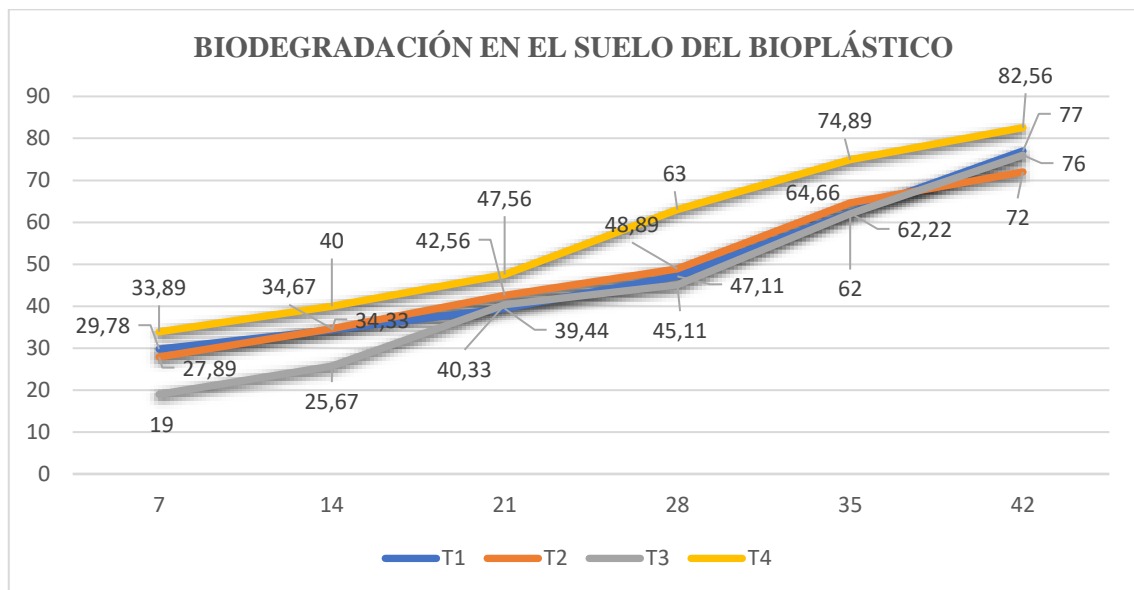
exposición a agentes externos que intervengan en su normal ciclo de degradabilidad, sus propiedades estructurales se mantienen, y su tiempo de degradación lleva más tiempo, así se puede observar en el Gráfico 3-7, la pequeña variación que existe entre los tratamientos, teniendo porcentajes de degradación demorada y degradación acelerada en varios días, y una similitud entre los T2 y T3.

**Tabla 3-14.** Resultados de la biodegradación de las láminas en el suelo

| N° | BIODEGRADACIÓN EN SUELO |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |
|----|-------------------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|
|    | 0.00                    | 7    | %            | 14   | %            | 21   | %            | 28   | %            | 35   | %            | 42   | %            |
| T1 | 9.00                    | 6.32 | <b>29.78</b> | 5.91 | <b>34.33</b> | 5.45 | <b>39.44</b> | 4.76 | <b>47.11</b> | 3.40 | <b>62.22</b> | 2.07 | <b>77.00</b> |
| T2 | 9.00                    | 6.49 | <b>27.89</b> | 5.88 | <b>34.67</b> | 5.17 | <b>42.56</b> | 4.60 | <b>48.89</b> | 3.19 | <b>64.66</b> | 2.52 | <b>72.00</b> |
| T3 | 9.00                    | 7.29 | <b>19.00</b> | 6.69 | <b>25.67</b> | 5.37 | <b>40.33</b> | 4.94 | <b>45.11</b> | 3.42 | <b>62.00</b> | 2.16 | <b>76.00</b> |
| T4 | 9.00                    | 5.95 | <b>33.89</b> | 5.40 | <b>40.00</b> | 4.72 | <b>47.56</b> | 3.33 | <b>63.00</b> | 2.26 | <b>74.89</b> | 1.57 | <b>82.56</b> |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

El siguiente gráfico determina que la biodegradación de las láminas durante los 42 días expuestas a la tierra resultaron similares en sus tratamientos; a excepción del T4, que tuvo un porcentaje ligeramente mayor de biodegradación.



**Gráfico 3-8.** Resultados de la biodegradación en el suelo del bioplástico.

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

En el siguiente cuadro se observa el cambio de apariencia de las láminas ante la biodegradación en suelo por 42 días.

➤ **Cambios de apariencia de las láminas ante la biodegradación en suelo**

| Biodegradación en el suelo  |   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|---|--|---|---|
| Día 1   | Día 7   | Día 14  | Día 21  | Día 28   | Día 35  | Día 42  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Por último para la degradabilidad en el suelo, al analizar los valores de la Tabla 3-16, se tiene un valor de 82.56% para el T4 a los 42 días que resultó ser el mejor tratamiento, presentando un porcentaje de degradación muy bueno acorde al tiempo en el que fue sometido al medio, ya que al estar bajo tierra presenta un proceso de degradación anaeróbico, que permite la metabolización del material por microorganismos como fuentes de carbono y energía, y según el Gráfico 3-8, se puede apreciar la curva de degradación de los tratamientos que mantuvieron constancia en sus resultados.

Al comparar los resultados de la degradación de las láminas simuladas bajo las tres condiciones ambientales, se determina que las láminas tienen una mejor degradación en el suelo y en el agua, al estar directamente en contacto con los factores que alteran sus propiedades y benefician a los procesos mineralización y degradación microbiana, sin embargo la degradación en aire al no tener un agente que acelere sus propiedades y por lo tanto su descomposición, mantiene un proceso degradativo más demorado pero que se encamina a su totalidad. Estos resultados en base a las características estudiadas experimentalmente nos indican que son acordes a los requerimientos descritos en la norma INEN 2643 (Especificaciones para Plásticos Compostables), ya que poseen una velocidad de degradación que es comparable a otros materiales compostables en los que se encuentran: hojas, papel, madera, frutas, etc. Además al comparar los resultados de la investigación de (Brito et al, 2021, p.230), que obtuvo un 27% de degradación al décimo día del bioplástico a base de almidón de yuca, y al estudio de (Guamán, 2019, p.50), que tuvo un 92% de degradabilidad a los 30 días en sus láminas a base de almidón de cáscara de papas, analizadas por pérdida de peso en medio aerobio y anaerobio, se determina que los valores reportados en esta investigación presentan un margen de tolerancia similar a otros estudios que utilizan materias primas agrícolas para realizar este tipo de polímeros.

### 3.9 Resultados del análisis del costo de producción del bioplástico

Al existir una baja oferta de productos biodegradables en nuestro país, surge la necesidad de crear proyectos que sean rentables utilizando materiales orgánicos, que ayuden a fomentar la concientización ambiental por el consumo de plástico y que satisfaga las necesidades del mercado, brindando de esta manera una economía circular.

El costo de producción de bioplástico se determina en base un análisis técnico-económico, realizado en función de los parámetros técnicos y recursos utilizados en el desarrollo de esta investigación.

#### 3.9.1 Resultados del análisis técnico

Para analizar el costo productivo que requiere la elaboración de bioplástico a partir de residuos de yuca, se tomó el mejor rendimiento de almidón obtenido del diseño factorial que utilizó 300 g de materia prima (corteza de yuca) y 500 mL de agua, obteniendo en promedio 57,15 gramos de almidón.

Para producir una lámina de bioplástico A4 de (297 x 210) con 0,13 mm promedio de espesor, se requieren 9 gramos de almidón tamizado y en base a este resultado se proyecta a la población total de materia prima (4,8 kg de corteza de yuca) como base de análisis para determinar el costo de producción como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 3-15.** Proyección de producto final obtenido a partir del almidón de residuos de yuca

| No. | Corteza de yuca procesada (g) | Almidón procesado (g) | Almidón útil tamizado (g) | Cantidad de almidón útil utilizado por cada lámina (g) | No de Láminas A4 Bioplástico 297 mm x 210mm x 0,13 mm |
|-----|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|--|---|
| 1   | 300                           | 84,76                 | 57,15                     | 9  | 6,4   |
| 2   | 4800                          | 1356,16               | 914,46                    | 9  | 150,7   |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

Los valores del almidón útil tamizado indicados anteriormente, se determinaron al considerar una muestra de 100 gramos de almidón presentado a continuación:

**Tabla 3-16.** Proyección de almidón tamizado

| No. | Almidón (g) | almidón útil tamizado (g) |
|-----|-------------|---------------------------|
| 1   | 100         | 67,43                     |
| 2   | 84,76       | 57,153668                 |
| 3   | 1356,16     | 914,458688                |

Realizado por: Chimbo Valeria, 2021.

De acuerdo al análisis realizado en este estudio se determina que con 4,8 kg de materia prima (corteza de yuca) se lograría obtener 150,7 láminas biodegradables, y para efectos de cálculo se considerará un valor de 150 láminas.

### 3.9.2 Resultados del análisis económico

A continuación se resume en la siguiente tabla, el análisis económico que se requiere para producir el bioplástico, considerando los costos directos e indirectos que intervienen en la investigación:

**Tabla 3-17.** Análisis económico en relación al beneficio/costo para la producción de 150 láminas de bioplástico a partir del almidón de residuos de yuca

| No                          | DETALLES   | VALOR UNITARIO (USD) | CANTIDAD | UNIDAD         | TOTAL (USD) |
|-----------------------------|--|----------------------|----------|----------------|-------------|
| <b>Costo directo (CD)</b>   |  |                      |          |                |             |
| 1                           | Mano de obra   | 6,6                  | 1        | global         | 6,6         |
|                             | Transporte   | 3,75                 | 1        | global         | 3,75        |
|                             | <b>Materiales</b>  |                      |          |                |             |
|                             | Vasos de plástico, fundas ziploc, glicerina, ácido acético, tela filtrante, fundas de basura, entre otros. | 10,00                | 1        | global         | 10,00       |
|                             | <b>Materia prima</b>   |                      |          |                |             |
|                             | Cáscara de yuca  | 0                    | 4,8      | kg             | 0           |
|                             | <b>Total</b>   |                      |          |                | 20,31       |
| <b>Costo indirecto (CI)</b> |  |                      |          |                |             |
| 2                           | Agua   | 0,48                 | 0,060    | m <sup>3</sup> | 0,03        |
|                             | Electricidad   | 0.1                  | 1,09     | Kw/h           | 0,11        |
|                             | <b>Total</b>   |                      |          |                | 0,14        |
|                             | Costos indirectos aproximados por unidad   |                      |          |                | 0,000933    |
|                             | <b>Costos de producción (CP)</b>   |                      |          |                | 20,311      |
|                             | <b>Costo de producción unitario (CPU)</b>  |                      |          |                | 0,1354      |
|                             | <b>Utilidad por unidad (25%)</b>   |                      |          |                | 0,034       |
|                             | <b>Precio de venta por unidad (IB)</b>   |                      |          |                | 0,169       |

Realizado por: Chimbo, Valeria. 2021

En donde:

**IB** = Ingreso bruto= \$0,17

**Análisis Beneficio/costo (BC)** =  $\frac{IB}{CPU} = \$1,21$

En la Tabla 3-17; se aprecia los resultados de relación beneficio/costo para producir 150 láminas de bioplástico a partir del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*), concluyendo que el proyecto es rentable, ya que la relación B/C debe ser mayor a 1, además se puede determinar que hay un beneficio de 0,03 USD por cada unidad vendida, dándose a entender que por cada dólar invertido se obtiene rentabilidad del 21%.

Los valores de costos directos relacionados a la mano de obra y transporte en forma mensual, se determinaron en función de los recursos utilizados en la producción de bioplástico suponiendo una implementación de un proceso tecnológico industrializado ver en (Anexo K).

Para los costos indirectos de consumo de agua y energía, se tomo en cuenta la cantidad de consumo usado durante los 16 tratamientos que se emplearon al utilizar los 4,8 kg de materia prima en la extracción del almidón y la posterior elaboración de las láminas de bioplástico. Para ello se utilizó el costo de agua en  $m^3$ , según el valor de la planilla de agua referente a nuestro país y costo de energía en kWh, según la potencia que emite los instrumentos eléctricos utilizados (Anexo K).



## CONCLUSIONES

- El tratamiento óptimo para la obtención del almidón por vía húmeda, es el tratamiento 3 con 28,26%, y a partir de este se logró producir plástico biodegradable de los residuos de la yuca que puede ser utilizado para el embalaje de alimentos.
- En base a la metodología empleada y a sus resultados se determinó que la mayoría de los parámetros cumplen con los estándares de calidad tanto para el almidón insoluble, como para la materia prima, mismos que tienen los valores de: amilosa de 32,62 %; amilopectina 67,39 %; humedad 14,64 %; ceniza 2,41 %; temperatura de gelatinización 74 °C, pH de 5,6 para el almidón de cáscara de yuca y de 26,68% de humedad, 5,33 % de cenizas, 5,338 de pH y 43% en materia seca para la cáscara de yuca.
- A través del diseño factorial  $2^k$ , se estableció la mezcla óptima a partir de las concentraciones del almidón y los plastificantes para la síntesis del bioplástico, identificando al T4 como el más adecuado.
- Las propiedades mecánicas del biopolímero a partir del almidón obtenido de los residuos de yuca (*Manihot esculenta*), tienen características similares a los plásticos convencionales, en especial el tratamiento 4; con valores de 21,15 % de humedad; 41,04 % de solubilidad; 0,119 % de permeabilidad al vapor de agua; 4,99 MPa de módulo de elasticidad y un porcentaje de degradación de 95,22% en agua, 82,56% en suelo y 35,56% en aire durante los días que fueron analizados.
- El costo de producción para elaborar láminas de plástico biodegradable a partir de los residuos de la yuca se estima que es de 0,17 dólares por cada lámina A4 elaborada, considerando a este proyecto como viable ya que presenta un 21 % de rentabilidad.

## RECOMENDACIONES

- Aprovechar los residuos de la filtración y el líquido sobrenadante de la sedimentación al momento de extraer el almidón, ya que estos subproductos cuentan con componentes nutricionales con alta carga orgánica que podrían ser encaminados a estudios que requieran estas propiedades.
- Realizar la caracterización físico-química a los residuos de la yuca con diferentes tiempos de maduración; con el fin de determinar el grado de influencia que tiene en la calidad del almidón.
- Durante el proceso de elaboración del bioplástico se recomienda estandarizar los moldes utilizados y procurar que la mezcla vertida sea constante, con el fin de que el almidón sea hidrolizado correctamente y se obtengan acabados uniformes de las muestras, ya que de esto dependían varias propiedades entre las que destaca el espesor de las láminas y el tiempo de secado.
- Debido a la naturaleza hidrofílica que posee el almidón y las películas a partir de corteza de yuca, se recomienda realizar cambios alterando al almidón mediante reacciones químicas que modifiquen a los grupos hidroxilo, o a su vez agregando otros insumos que confieran al bioplástico más resistencia al agua y la humedad.
- Dar a los bioplásticos otras aplicaciones que no requieran gran exigencia normativa en cuanto a algunas características sensoriales y para conservación de los alimentos; como pueden ser bolsas para viveros, ya que no requieren transparencia en su aspecto visual y a su vez ayudan en la nutrición de las plantas, resultando ser beneficioso en cuanto a precio y su disposición final.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALARCON PORRAS, Pedro; et al.** Elaboración de bolsas plásticas biodegradables a base del almidón de la yuca [en línea] (Trabajo de titulación). Lima-Perú: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA. 2018. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3728/3/2018\\_Camarena-Reyes.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3728/3/2018_Camarena-Reyes.pdf)

**ALIMENTARIOS, G.D.P.** Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Innotec* [en línea]. 2011, vol. 0, no. 4, pp. 33-36. ISSN 1688-3691.

**ALVIS, A; et al.** Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica* [en línea], 2008, vol. 19, no. 1, pp. pág.: 19-28. ISSN 0718-0764. DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>.

**ARISTIZÁBAL, J; et al.** *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2007. ISBN 978-92-5-305677-4.

**BARRAGÁN, Arturo; et al.** *Manual de tecnologías en la cadena agroindustrial de la yuca (Manihot esculenta Crantz)* [en línea]. S.l.: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Programa Nacional de Competitividad y Desarrollo Tecnológico en la Cadena Agroindustrial de Frutas y Hortalizas; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2002. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54494>

**BARRAGAN HUERTA, Blanca E., et al.** “Utilización de residuos agroindustriales”. *Revista Sistemas Ambientales* [en línea], 2008, vol. 2, no. 1, pp. 44-50. [Consulta: 17 abril 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/310441706\\_UTILIZACION\\_DE\\_RESIDUOS\\_AGR\\_OINDUSTRIALES](https://www.researchgate.net/publication/310441706_UTILIZACION_DE_RESIDUOS_AGR_OINDUSTRIALES)

**BETANCOURT AGUILAR, et al.** Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *cultrop* [en línea]. 2016, vol. 37, no. 3, pp. 7-14. ISSN 1819-4087. DOI <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>.

**BRIONES MUÑOZ, Sofía; & RIERA, María.** “Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas

como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos”. *Avances en Química* [en línea], 2020, vol. 15, no. 1, pp. 3-11. [Consulta: 3 enero 2021]. ISSN 1856-5301.

**BRITO, Hannibal; et al.** “Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)”. *La Ciencia al Servicio de la Salud* [en línea], 2019, vol. 10, no. Ed. Esp., pp. 202-209. ISSN 1390-874X.

**BRITO, Hannibal.** *Texto Básico de Operaciones Unitarias. 2000. I. S.l.: s.n.*

**BRITO, Hannibal.** *Texto básico de operaciones unitarias III* [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2001. S.l.: s.n.

**BRITO, H., RODRIGUEZ BASANTES, A. y HUACHO, I.** “Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (*Manihot Esculenta Crantz*)”. *Dom. Cien.*, [en línea], 2021, Vol 7, núm. 1, pp.216-232. ISSN: 2477-8818. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/349214716\\_Sintesis\\_de\\_un\\_polimero\\_biodegradable\\_a\\_base\\_de\\_la\\_yuca\\_manihot\\_esculenta\\_crantz\\_Sintesis\\_de\\_un\\_polimero\\_biodegradable\\_a\\_base\\_de\\_la\\_yuca\\_Manihot\\_Esculenta\\_Crantz\\_Synthesis\\_of\\_a\\_biodegradable\\_polymer\\_b](https://www.researchgate.net/publication/349214716_Sintesis_de_un_polimero_biodegradable_a_base_de_la_yuca_manihot_esculenta_crantz_Sintesis_de_un_polimero_biodegradable_a_base_de_la_yuca_Manihot_Esculenta_Crantz_Synthesis_of_a_biodegradable_polymer_b)

**BROWN P; et al.** *Biopolymers* [en línea]. 2000. S.l.: Rapra Review Reports 10. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Rapra+Review+Re+ports#2>

**BUITRAGO A, Julian.** *La yuca en la alimentación animal.* Cali: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1990, pp. 25-33. ISBN 978-958-9183-10-6. [Consulta: 29 abril 2021]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54118>

**CHINCHAYHUARA CAPA, R.K; & QUISPE LLAURE, R.D.P.** Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo – 2018. En: Accepted: 2019-08-21T14:13:28Z, *Repositorio Institucional - UCV* [en línea], 2018. [Consulta: 30 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35806>

**CHUIZA, M ; & BRITO, H.** Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de *Arracacia xanthorrhiza*. 2020, vol. 6, no. 2, pp. 981-994. ISSN 2477-8818. DOI 10.23857/dc.v6i3.1261.

**CHUNCHO, Guillermo.** Los plásticos, un problema ambiental y la salud humana. *DIARIO*

*CRÓNICA* [en línea], 3 julio 2020. [Consulta: 13 mayo 2021]. Disponible en: <https://cronica.com.ec/2020/07/03/los-plasticos-un-problema-ambiental-y-la-salud-humana/>

**COBANA, M.** PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA POR VÍA. *REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA*, 2007, pp. 8.

**DE TASSO MOREIRA RIBEIRO, R.** *Storage mobilization during germination and seedling establishment of *Macrolobium acaciifolium* Benth. (Leguminosae) and its role on the adaptation to the inundation pulses in the Amazon.* 2014. S.l.: s.n.

**ESPINOSA, M.M.C.** OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE PATATA. 2015 , pp. 109.

**GARCÍA ARIAS, J.C; et al.** *Diversidad de yucas (*Manihot esculenta* Crantz) entre los Ticuna: Riqueza cultural y genética de un producto tradicional.* 2005, pp. 42-44. ISSN 958-97420-8-4.

**MENDOZA M, G; et al.** *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano.* 2017. S.l.: s.n.

**GIL, Jorge Luis.** *Uso de la yuca en alimentación animal* [en línea]. Corporación CLAYUCA, 2015 , pp. 19.

**GIRALDO TIGUA, Liliana; et al.** Elaboración de envases bioplásticos mediante el aprovechamiento de materias primas vegetales con fines industriales [en línea] [Tesis de Pregrado - Ingeniería Industrial]. Quevedo: UTEQ, 2019, pp. 105. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4177>

**GÓMEZ, Sergio.** Yuca: todo lo que tienes que saber de este tubérculo. *Alimente* [en línea]. 2020. [Consulta: 23 marzo 2021]. Disponible en: [https://www.alimente.elconfidencial.com/gastronomia-y-cocina/2020-11-01/yuca-propiedades-prepararlo\\_1881162/](https://www.alimente.elconfidencial.com/gastronomia-y-cocina/2020-11-01/yuca-propiedades-prepararlo_1881162/)

**GONZÁLEZ GARCÍA, J.C; et al.** Extracción de almidón de malanga blanca, una alternativa socioambiental para la producción de bases poliméricas biodegradables. *ConcienciaDigital* [en línea]. 2020, vol. 3, no. 3, pp. 6-26. ISSN 0317-8471, 0317-8471. DOI 10.33262/concienciadigital.v3i3.1263

**GRANDA SANCHEZ, J.J; & RAMOS CONTRERAS, Y.M.** Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de *Solanum Tuberosum* a diferentes porcentajes de plastificante. En: Accepted: 2019-08-21T14:24:54Z, Universidad Nacional de Trujillo [en línea]. 2019, pp. 32-33. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13393>

**GUAMÁN BRAVO, M.J.** Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascara de papa para su aplicación industrial. En: Accepted: 2019-07-11T21:30:50Z [en línea]. 2019. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11069>

**HERNÁNDEZ, Karina.** *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables.* [en línea]. 2013. MÉXICO D.F.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Disponible en: [ru.dgb.unam.mx](http://ru.dgb.unam.mx)

**JOAQUÍN D, D.F; & VILLADA C, H.S.** Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea]. 2013, vol. 11, pp.59-68. [Consulta: 3 mayo 2021]. ISSN 1692-3561. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612013000300007&lng=e&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612013000300007&lng=e&nrm=iso)

**KNOWLES, M.M, et al.** Uso de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes. 2018, pp. 13.

**LABEAGA VITERI, A.** Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. [en línea]. 2018. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga>

**LEÓN VIRGÜEZ, Carolina.** Recubrimientos comestibles a base de almidón con potencial aplicación en conservación de frutas (Proyecto de grado). En: Accepted: 2018-11-07T21:59:12Z [en línea]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2018. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/21299>.

**LIDERES.** Revista Lideres Ecuador [en línea]. 2018. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html#:~:text=La%20industria%20de%20pl%C3%A1stico%20en,exporta%20en%20medio%20de%20desaf%C3%ADos.&text=Actualmente%20genera%20m%C3%A1s%20de%2019,unas%20500%20000%20tonelada>

**LUNA, G; et al.** Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares. *DYNA*, 2009, vol. 76, no. 159, pp. 145-151. ISSN 2346-2183.

**MANZANO HERNÁNDEZ, A.S.** Preparación de films a base de quitosano enriquecido con flavonoides totales de Ñachak (*Bidens andicola*). En: Accepted: 2018-09-13T13:55:56Z [en línea]. 2018. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8829>.

**MARIANO, 2011.** PROPIEDADES MECANICAS | Tecnología de los Plásticos. *PROPIEDADES MECANICAS | Tecnología de los Plásticos* [en línea]. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>.

**MAULIDA, M; et al.** Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *Journal of Physics Conference Series*. 2016, vol. 710, pp.1-7. DOI 10.1088/1742-6596/710/1/012012.

**MENESES, Juliana et al.** “Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Revista EIA* [en línea], (2007), diciembre, No. 8, pp. 57-67. [Consulta: 12 enero 2021]. ISSN 1794-1237. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372007000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006)

**MENOSCAL CHICHANDA, Richard; & RODRÍGUEZ MENDOZA, Elvin.** Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) (Trabajo de titulación). En: Accepted: 2017-09-12T16:25:15Z [en línea]. ESPAMMFL, Calceta, Manabí. 2017. pp. 1-3. [Consulta: 30 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/623>.

**MUÑOZ, S.B. y RIERA, M.A..** “Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos”. *Avances en Química* [en línea], 2020, vol. 15, no. 1, pp. 3-11. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7452718>

**NAVIA PORRAS, Diana; & BEJARANO ARANA, Nathalia.** “Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca”. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustria* [en línea], 2014, vol. 12, no. 2, pp. 40-48. ISSN 1909-9959.

**ORTÍZ ORTÍZ, A.** Evaluación ambiental de las diferentes alternativas en la utilización de la glicerina como subproducto de la producción de la planta de biodiesel Bio D S.A. del municipio de Facatativá . En: Accepted: 2017-10-13T23:21:45Z [en línea]. 2013. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10617>.

**PASPUEL, A., 2016.** Caracterización de un bioplástico de almidones de maíz y yuca con antocianinas de repollo morado (*Brassica oleracea*) como potencial indicador de pH. , pp. 1-62.

**PENARANDA, O, et al.** Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Ingeniería e Investigación*, ISSN 0129-5608, Vol. 28, N°. 3, 2008, pags. 47-52, vol. 28.

**PÉREZ IGLESIAS, Hipólito; & RODRÍGUEZ DELGADO, Irán.** *Cultivos tropicales de importancia económica en Ecuador (arroz, yuca, caña de azúcar y maíz)* [en línea]. 2018 , vol. 1, pp. 56. [Consulta: 12 mayo 2021]. ISBN: 978-9942-24-113-9. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12538>

**PÉREZ PARRA, B.J.** Obtención de biofilm a partir del almidón de Zanahoria Blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de Camote (*Ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo. En: Accepted: 2020-02-17T19:30:11Z [en línea]. 2019. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13808>

**RAMOS MEZA, N.P..** Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. En: Accepted: 2017-01-06T20:26:46Z, *Universidad Nacional Agraria La Molina* [en línea], 2016, p.12. [Consulta: 30 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2016>

**RIERA, María; & PALMA, Ricardo.** “Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador”. *Avances en Química*, 2018, vol. 3, pp. 11. [Consulta: 22 abril 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/331688246\\_Obtencion\\_de\\_bioplasticos\\_a\\_partir\\_de\\_desechos\\_agricolas\\_Una\\_revision\\_de\\_las\\_potencialidades\\_en\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/331688246_Obtencion_de_bioplasticos_a_partir_de_desechos_agricolas_Una_revision_de_las_potencialidades_en_Ecuador)

**ROMERO, D.** *Evaluación del grado de deterioro en plásticos biodegradables sometidos a distintos ecosistemas de estudio.* 1997. S.l.: s.n.



**ROSALES, A. de los Á.** *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua* [en línea]. other. S.l.: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. *Mayo–Abril 2016*. [Consulta: 1 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/>

**SEGURA FERNÁNDEZ, L.K. y VELÁSQUEZ VALENCIA, M.Y.** *Obtención de películas de bioplástico usando almidón y fibra de residuos lignocelulósicos*. 2020. Perú: s.n.

**SIERRA, Angelica; et al.** *Elaboración de bioplástico a partir del almidón presente en papas. Instituto Mexicano Madero Plantel Zavalet, 2019, Puebla, pp. 1.*

**SZYMAŃSKI, S.** Magnetic Equivalence between Nuclei of Spin Greater than 12 in Presence of Relaxation. *Journal of Magnetic Resonance* [en línea]. 1997, vol. 127, no. 2, pp. 199-205. ISSN 10907807. DOI 10.1006/jmre.1997.1203

**TARAZA, T.A.E.** *Producción agropecuaria: YUCA INDUSTRIAL* [en línea]. 2008. Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <http://senagrotaraza.blogspot.com/2008/12/yuca-industrial.html>

**TRUJILLO RIVERA, T.C.** *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta Crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos*. En: Accepted: 2016-09-29T14:05:10Z, *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD* [en línea]. 2014. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/65>

**VALAREZO ULLOA, María.** *Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (Manihot esculenta)* [en línea]. S.l.: Universidad católica de Loja. 2012. [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/oz1ej8y9-desarrollo-biopolimeros-partir-almidon-corteza-yuca-manihot-esculenta.html>

**VEGA CASTRO, O.A.** *Extracción y caracterización estructural de un Pha, obtenido de residuos de cascaras de yuca y piña mediante procesos de fermentación; y su aplicación en la fabricación de fibras por electrospinning*. 2016. S.l.: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.

**VELASCO PÉREZ, Maribel; et al.** *BIOPLÁSTICOS Y PLÁSTICOS DEGRADABLES – Biblioteca del plástico*. [en línea]. 2014. [Consulta: 1 mayo 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.org.anipac.mx/biblioteca/degradabilidad-2/bioplasticos-y-plasticos-degradables>

**VELASTEGUI, R.** *El cultivo de la yuca en el Ecuador: Su comercialización, impacto en la agroindustria, aspectos socioeconómicos y de organización de productores.* 1992, Quito-Ecuador. pp. 633-682

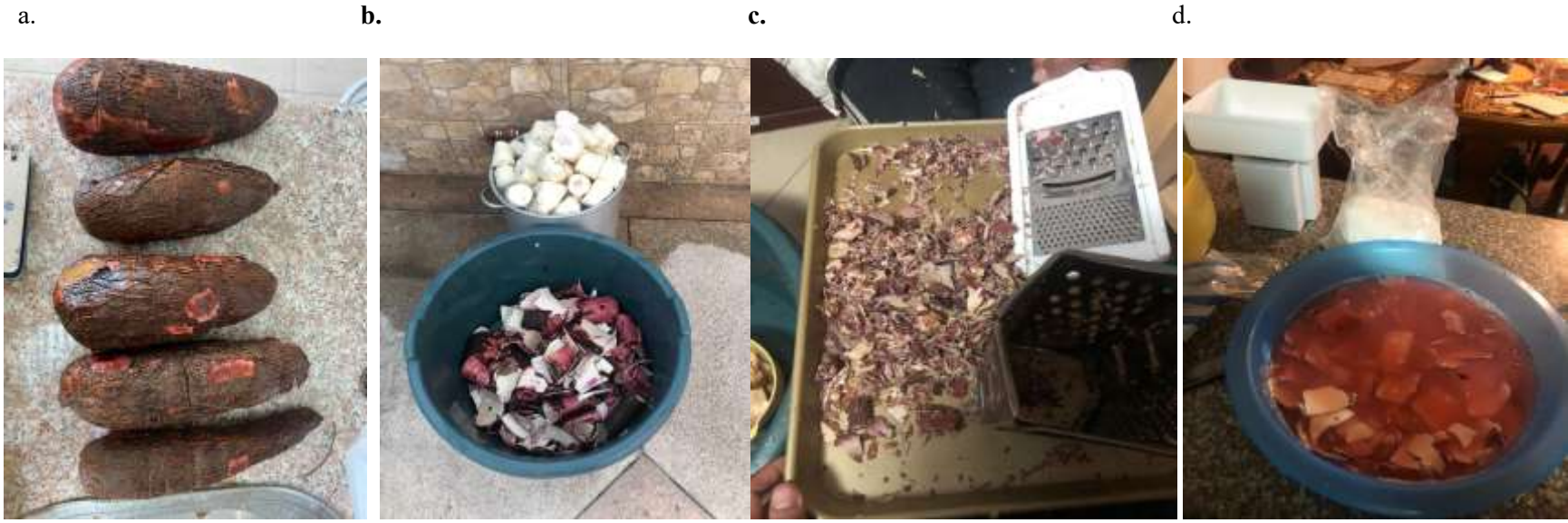
**WANG, et al.** Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols. *Food hydrocolloids* [en línea]. 2013. [Consulta: 6 abril 2021]. ISSN 0268-005X. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900090628>

LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL  
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION-  
ECIBCE, l=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.09.02 15:31:19 -05'00'

ANEXOS

ANEXO A. Extracción del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)



| NOTAS  | CATEGORIA DEL DIAGRAMA   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITÉCNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>INGENIERÍA EN<br>BIOTECNOLOGÍA<br>AMBIENTAL | EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE<br>CÁSCARA DE YUCA ( <i>Manihot<br/>esculenta</i> ) |        |            |
|--|--|---|--|--------|------------|
| a. Selección y lavado de la materia prima.<br>b. Lavado y pelado de la materia prima.<br>c. Rallado sin la epidermis de la materia prima.<br>d. Remojo en ácido cítrico. | <input type="checkbox"/> <i>Aprobado</i><br><input type="checkbox"/> <i>Certificado</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por aprobar</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por calificar</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por verificar</i> | Elaborado por:<br><br>Melanie Valeria Chimbo<br>Encalada  | LÁMINA   | ESCALA | FECHA      |
|  |  |   | 1  | 1:1    | 2021/06/10 |

e.



f.



g.



h.



**NOTAS**

- e. Pesado de la materia prima
- f. Triturado de la mezcla.
- g. Filtrado de la mezcla
- h. Decantado de la mezcla.

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- Aprobado*
- Certificado*
- Por aprobar*
- Por calificar*
- Por verificar*

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INGENIERÍA EN  
BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTAL**

Elaborado por:  
Melanie Valeria Chimbo Encalada

**EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN  
DE CÁSCARA DE YUCA  
(*Manihot esculenta*)**

**LÁMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

**2**

**1:1**

2021/06/1  
0

i.



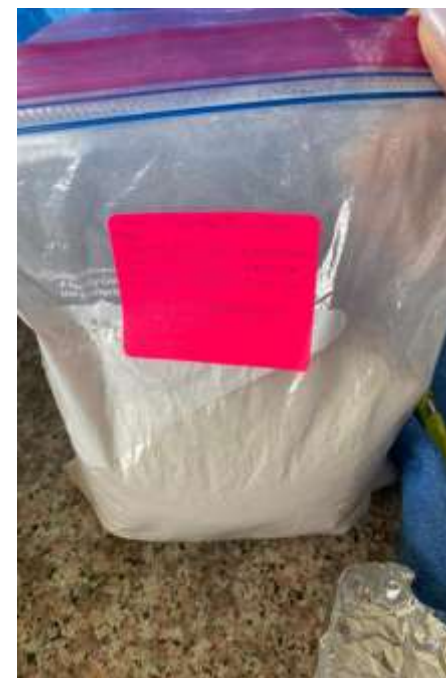
j.



k.



l.



|   |   |  |  |               |                   |
|---|---|--|--|---------------|-------------------|
| <b>NOTAS</b>  | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>INGENIERÍA EN<br/>BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL</b> | <b>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE<br/>CÁSCARA DE YUCA (<i>Manihot<br/>esculenta</i>)</b> |               |                   |
| <p>i. Secado del almidón.<br/>j. Triturado del almidón.<br/>k. Pesado del almidón..<br/>l. Empacado y almacenamiento.</p> | <p><input type="checkbox"/> <i>Aprobado</i><br/><input type="checkbox"/> <i>Certificado</i><br/><input type="checkbox"/> <i>Por aprobar</i><br/><input type="checkbox"/> <i>Por calificar</i><br/><input type="checkbox"/> <i>Por verificar</i></p> | <p>Elaborado por:<br/>Melanie Valeria Chimbo Encalada</p>  | <b>LÁMINA</b>  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b>      |
|   |   |  | <b>3</b>   | <b>1:1</b>    | <b>2021/06/10</b> |

**ANEXO B. Caracterización del almidón de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*)**

a.



b.



c.



| NOTAS   | CATEGORIA DEL DIAGRAMA   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITÉCNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>INGENIERÍA EN<br>BIOTECNOLOGÍA<br>AMBIENTAL | CARACTERIZACIÓN DEL<br>ALMIDÓN DE CÁSCARA DE<br>YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) |        |            |
|---|--|---|---|--------|------------|
| a. Prueba de pH del almidón.<br>b. Determinación de la viscosidad del almidón.<br>c. Determinación de temperatura de gelatinización del almidón.<br>d. Centrifugación para determinar el índice de solubilidad. | <input type="checkbox"/> <i>Aprobado</i><br><input type="checkbox"/> <i>Certificado</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por aprobar</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por calificar</i><br><input type="checkbox"/> <i>Por verificar</i> | Elaborado por:<br><br>Melanie Valeria Chimbo Encalada   | LÁMINA  | ESCALA | FECHA      |
|   |  |   | 4   | 1:1    | 2021/06/10 |

e.



f.



g.



h.



**NOTAS**

- e. Muestras para determinar el índice de solubilidad del almidón.
- f. Determinación de humedad y cenizas.
- g. Reactivos para prueba de sensibilidad (Yodo 0,1 N y Tiosulfato de sodio 0,1 N)
- h. Prueba positiva de sensibilidad del almidón

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- Aprobado*
- Certificado*
- Por aprobar*
- Por calificar*
- Por verificar*

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INGENIERÍA EN  
BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTAL**

Elaborado por:  
Melanie Valeria Chimbo  
Encalada

**EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE  
CÁSCARA DE YUCA (*Manihot  
esculenta*)**

**LÁMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

**5**

**1:1**

**2021/06/10**

ANEXO C. Elaboración del bioplástico a partir del almidón de cáscara de yuca

a.



b.



c.



d.



| NOTAS   | CATEGORIA DEL DIAGRAMA  | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL | ELABORACIÓN DEL BIÓPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) |        |            |
|---|---|---|--|--------|------------|
| <p>a. <i>Formulación del bioplástico</i></p> <p>b. <i>Preparación de muestras en cajas petri.</i></p> <p>c. <i>Preparación de formulaciones del bioplástico en bandejas grandes.</i></p> <p>d. <i>Secado y desprendimiento del bioplástico del molde.</i></p> | <p><input type="checkbox"/> <i>Aprobado</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>Certificado</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>Por aprobar</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>Por calificar</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>Por verificar</i></p> | <p>Elaborado por:</p> <p>Melanie Valeria Chimbo Encalada</p>  | LÁMINA   | ESCALA | FECHA      |
|   |   |   | 6  | 1:1    | 2021/06/10 |



**ANEXO D. Caracterización del bioplástico a partir del almidón de cáscara de yuca**

*a.*



*b.*



*c.*



*d.*



**NOTAS**

- a. Agitación para la prueba de solubilidad del bioplástico*
- b. Determinación de solubilidad del bioplástico*
- c. Determinación de humedad del bioplástico.*
- d. Determinación de la permeabilidad del bioplástico .*

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- Aprobado*
- Certificado*
- Por aprobar*
- Por calificar*
- Por verificar*

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INGENIERÍA EN  
BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTAL**

Elaborado por:  
Melanie Valeria Chimbo Encalada

**CARACTERIZACIÓN DEL  
BIÓPLÁSTICO A PARTIR DEL  
ALMIDÓN DE CÁSCARA DE  
YUCA (*Manihot esculenta*)**

**LÁMINA**

**ESCALA**

**FECHA**



7

1:1

2021/06/10

ANEXO E. Informe del porcentaje de amilosa del almidón de residuos de yuca

MC-LSAIA-2301-05

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS<br>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA<br>DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD<br>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS<br>Paramoncón Sur Km. 1, Cuzco/AguaTibia, 06006R-0007104, Fax: 0007134<br>Casilla postal: 17-01-340 |  |
|---|---|---|

INFORME DE ENSAYO No: 21-025

**NOMBRE PETICIONARIO:** Srta. Melanie Chimbo  
**DIRECCION:** Píobamba  
**FECHA DE EMISION:** 1 de febrero de 2021  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 14 al 29 de enero de 2021

**INSTITUCION:** Particular  
**ATENCIÓN:** Srta. Melanie Chimbo  
**FECHA DE RECEPCION:** 14/01/2021  
**HORA DE RECEPCION:** 10H00  
**ANALISIS SOLICITADO:** Amilosa

| ANÁLISIS    | HUMEDAD         | AMILOSA <sup>1</sup> |  |  |  | IDENTIFICACIÓN            |
|-------------|-----------------|----------------------|--|--|--|---------------------------|
| METODO      | MO-LSAIA-21.01  | MO-LSAIA-04          |  |  |  |                           |
| METODO REF. | U. FLORIDA 1870 |                      |  |  |  |                           |
| UNIDAD      | %               | %                    |  |  |  |                           |
| 21-002B     | 12.64           | 32.61                |  |  |  | Almidón de casaca de yuca |

Los ensayos marcados con  $\Omega$  se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

  
**Dr. Iván Samaniego**  
 RESPONSABLE TECNICO



  
**Ing. Eudimar Ortiz**  
 RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este como electrónico o ha no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

ANEXO F. Informe prueba de probeta del tratamiento 1



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

| INFORME DE RESULTADOS                                    |   |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                                       |   |
| Denominación: RG 18 - 1                                  |   |
| N° 05  |   |
| SOLICITADO POR:  | Melanie Valeria Chimbo Encalada   |
| PROYECTO DE TESIS:                                       | PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS DE YUCA (Mambo esculenta) |
| DIRECCION:   | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA   |
| TIPO DE MATERIAL:  | BIOPLASTICO - RESIDUOS DE YUCA  |
| MATERIAL:  | LAMINA DE PLASTICO  |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                                    | 2021 - 01   |
| NORMA UTILIZADA:   | NTE INEN 2635-012   |
| FECHA DE ENSAYO:   | 11-ene-21   |
| EQUIPO UTILIZADO: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B |   |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD        |   |
| SERIE: 7136  | CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D Cód IDENT: M2  |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL                                 | TRAT. IB  |
| CARACTERÍSTICA   | CAFÉ TRANSPARENTE   |
| ESPESOR [mm]   | 0.22  |
| ANCHURA [mm]   | 9.30  |
| LONGITUD INICIAL [mm]                                    | 25.00   |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]                   | 2.05  |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]                              | 2.569.E+00  |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                                    | 1.51  |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]                               | 0.74  |
| CARGA MAXIMA [N]   | 1.65  |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa]                                    | 0.81  |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]                             | 49.74   |
| OBSERVACIONES:   |   |

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. MsC.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO G. Informe prueba de probeta del tratamiento 2

| INFORME DE RESULTADOS                                    |  |
|--|--|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                                       |  |
| Denominación: RG 18 - 1                                  |  |
| N° 02  |  |
| SOLICITADO POR:  | Melanie Valeria Chimbo Encalada  |
| PROYECTO DE TESIS:                                       | PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS DE YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) |
| DIRECCION:   | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  |
| TIPO DE MATERIAL:  | BIOPLASTICO - RESIDUOS DE YUCA   |
| MATERIAL:  | LAMINA DE PLASTICO   |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                                    | 2021 - 01  |
| NORMA UTILIZADA:   | NTE INEN 2635:012  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 11-ene-21  |
| EQUIPO UTILIZADO: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B |  |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD        |  |
| SERIE: 7136  | CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D   |
| CÓD IDENT: M2  |  |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL                                 | TRAT. 2  |
| CARACTERÍSTICA   | CAFÉ TRANSPARENTE  |
| ESPESOR [mm]   | 0.18   |
| ANCHURA [mm]   | 9.58   |
| LONGITUD INICIAL [mm]                                    | 25.00  |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]                   | 1.72   |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]                              | 4.016.E+00   |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                                    | 1.47   |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]                               | 0.85   |
| CARGA MAXIMA [N]   | 2.41   |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa]                                    | 1.40   |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]                             | 43.29  |
| OBSERVACIONES:   |  |

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO H. Informe prueba de probeta del tratamiento 3

| INFORME DE RESULTADOS                  |   |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                     |   |
| Denominación: RG 18 - 1                |   |
| Nº 03                                  |   |
| SOLICITADO POR:                        | Melanie Valeria Chimbo Encalada   |
| PROYECTO DE TESIS:                     | PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS DE YUCA (Manihot esculenta) |
| DIRECCION:                             | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA   |
| TIPO DE MATERIAL:                      | BIOPLÁSTICO - RESIDUOS DE YUCA  |
| MATERIAL:                              | LAMINA DE PLÁSTICO  |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                  | 2021 - 01   |
| NORMA UTILIZADA:                       | NTE INEN 2635:012   |
| FECHA DE ENSAYO:                       | 11-ene-21   |
| EQUIPO UTILIZADO:                      | MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B  |
| MARCA:                                 | JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD  |
| SERIE:                                 | 7136  |
| CERTIFICADO:                           | LNM-F-2016500064D   |
| CÓD IDENT:                             | M2  |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL               | TRAT. 3   |
| CARACTERÍSTICA                         | CAFÉ TRANSPARENTE   |
| ESPEJOR [mm]                           | 0.15  |
| ANCHURA [mm]                           | 9.88  |
| LONGITUD INICIAL [mm]                  | 25.00   |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ] | 1.48  |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]            | 5.598.E+00  |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                  | 1.54  |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]             | 1.04  |
| CARGA MAXIMA [N]                       | 2.19  |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa]                  | 1.48  |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]           | 43.13   |
| OBSERVACIONES:                         |   |

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no es responsable por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO I. Informe prueba de probeta del tratamiento 4



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

| INFORME DE RESULTADOS                                    |  |
|--|--|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                                       |  |
| Denominación: RG 18 - 1                                  |  |
| N° 04  |  |
| SOLICITADO POR:  | Melanie Valeria Chimbo Encalada  |
| PROYECTO DE TESIS:                                       | PRODUCCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE PARA USO EN ALIMENTOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE RESIDUOS DE YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) |
| DIRECCION:   | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  |
| TIPO DE MATERIAL:  | BIOPLASTICO - RESIDUOS DE YUCA   |
| MATERIAL:  | LÁMINA DE PLÁSTICO   |
| FECHA DE FABRICACIÓN:                                    | 2021 - 01  |
| NORMA UTILIZADA:   | NTE INEN 2635-012  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 11-ene-21  |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B |  |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD        |  |
| SERIE: 7136  | CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D   |
| CÓD IDENT: M2  |  |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL                                 | TRAT. 4  |
| CARACTERÍSTICA   | CAFÉ TRANSPARENTE  |
| ESPESOR [mm]   | 0.16   |
| ANCHURA [mm]   | 9.11   |
| LONGITUD INICIAL [mm]                                    | 25.00  |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]                   | 1.46   |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]                              | 4.997.E+00   |
| CARGA DE FLUENCIA [N]                                    | 2.04   |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]                               | 1.40   |
| CARGA MÁXIMA [N]   | 3.23   |
| ESFUERZO MÁXIMO [MPa]                                    | 2.21   |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]                             | 92.46  |
| OBSERVACIONES:   |  |

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO J. Informe del análisis microbiológico del almidón de residuos de yuca

RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE  
ALMIDÓN

|  |
|--|
| NOMBRE: Melanie Valeria Chimbo Encalada      |
| TIPO DE MUESTRA: Almidón de cáscara de Yuca. |
| FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 2020-11-13      |
| FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 2020-11-20   |

Examen Físico

|                    |
|--------------------|
| COLOR: Beige.      |
| OLOR: Inoloro.     |
| ASPECTO: Granular. |

Examen Microbiológico

| Almidón de cáscara de Yuca                        |          |                        |            |
|---|----------|------------------------|------------|
| Determinaciones                                   | Unidades | *Valores de referencia | Resultados |
| Coliformes Totales                                | UFC/g    |                        | Ausencia   |
| Coliformes Fecales<br>( <i>Escherichia coli</i> ) | UFC/g    | <10                    | Ausencia   |
| Mohos y levaduras                                 | UFC/g    | 1000-5000              | Ausencia   |

Valores de Referencia tomados de Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca (FAO).



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO.

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXO K. Análisis de los costos directos e indirectos**

**Cálculo de costos directos para la producción de bioplástico**

| <b>Materia prima</b>    |                           |   |                           |                                |
|-------------------------|---------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|
| Descripción             | Tiempo (semanas)          | No de restaurantes                                | Corteza de yuca (kg)      | No de láminas A4 (bioplástico) |
| Producción              | 1                         | 1   | 4,8                       | 150                            |
| Bioplástico             | 4                         | 10  | 768                       | 24000                          |
| <b>Recursos humanos</b> |                           |   |                           |                                |
| Descripción             | Cantidad láminas (A4)     | Sueldo (USD)                                      |                           |                                |
| 1 técnico               | 24000                     | 600   |                           |                                |
|                         | 150                       | 3.75  |                           |                                |
| 1 chofer                | 24000                     | 600   |                           |                                |
|                         | 150                       | 2.8125  |                           |                                |
| <b>Transporte</b>       |                           |   |                           |                                |
| Descripción             | Precio (USD/día)- 4 horas | Precio (USD) - 24000 láminas x 20 días laborables | Precio (USD) -150 láminas |                                |
| 1 camioneta             | 30                        | 600   | 3.75                      |                                |

Realizado por: Chimbo, Valeria. 2021

**Cálculo de costos indirectos para la producción de bioplástico**

| <b>CONSUMO AGUA</b>           |               |                |              |                  |              |
|-------------------------------|---------------|----------------|--------------|------------------|--------------|
| Operación                     | Cantidad      | Unidad         | Volumen (mL) | Volumen (litros) | Volumen (m3) |
| 16 tratamientos               | 500           | ml             | 8000         | 8                | 0.008        |
| Lavado                        | 8             | galones        | 32000        | 32               | 0.032        |
| Formulaciones de bioplásticos | 150           | láminas        | 20250        | 20.25            | 0.020        |
|                               |               |                | Total        | 60.25            | 0.060        |
| <b>CONSUMO ELÉCTRICO</b>      |               |                |              |                  |              |
| Instrumento                   | Potencia (kW) | T(s) utilizado | t(horas)     | Consumo (kWh)    |              |
| licuadora                     | 0,165         | 480            | 0,133333333  | 0,022            |              |
| cocina eléctrica              | 1             | 3840           | 1,066666667  | 1,066666667      |              |
|                               |               |                | Total        | 1,088666667      |              |

Realizado por: Chimbo, Valeria. 2021





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

*Fecha de entrega: 23 / 08 / 2021*

|  |
|--|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>   |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Melanie Valeria Chimbo Encalada</i>                   |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>   |
| <b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>   |
| <b>Carrera:</b> <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>                         |
| <b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>                   |
| <b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |

**LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL  
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION-  
ECIBCE, i=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.08.23 12:05:22 -05'00'



**1531-DBRA-UTP-2021**