



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE DOS  
VARIEDADES DE SEMILLA DE MAÍZ (INIAP-101 &  
ZHIMA BLANCO)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: MILTON ADRIAN TIGRE ROCANO**

**DIRECTOR: ING. AUGUSTO POLIBIO MARTÍNEZ VEGA MGS.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE DOS  
VARIETADES DE SEMILLA DE MAÍZ (INIAP-101 & ZHIMA  
BLANCO)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: MILTON ADRIAN TIGRE ROCANO**

**DIRECTOR: ING. AUGUSTO POLIBIO MARTÍNEZ VEGA MGS.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Milton Adrian Tigre Rocano, portador de la cédula de ciudadanía N° 0106113665. Declaramos ser los autores de la obra: "ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE DOS VARIEDADES DE SEMILLA DE MAÍZ (INIAP-101 & ZHIMA BLANCO)", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 20 de julio de 2023

F:   
Milton Adrian Tigre Rocano  
0106113665

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Milton Adrian Tigre Rocano, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Augusto Polibio Martínez Vega Mgs.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queridos padres y hermana,

Les quiero agradecer infinitamente y expresar todo lo que han hecho por mí. Este viaje ha sido muy duro, pero hemos sabido siempre salir adelante, muchas gracias por haberme dado lecciones valiosas en mi vida, motivaciones para seguir adelante, todo eso me ha convertido en la persona que hoy soy.

Mamá, gracias por brindarme tu cariño incondicional y siempre escucharme cuando no tenía fuerzas para seguir. Todos tus sacrificios y dedicación puesta en la educación mía y de mi hermana, son el claro ejemplo de todo tu esfuerzo.

Papá, te agradezco por haberme sacado adelante cuando no teníamos lo necesario para esta educación. Tu siempre me enseñaste a no rendirme y luchar por lo que uno quiere lograr.

A mi hermana, que ha sido como una amiga en momentos tristes de mi vida, quiero ser tu modelo para seguir, y gracias por ayudarme cuando nadie más podía.

Juntos como familia, hemos pasado muchos retos, y aunque no todo es perfecto, nos hemos mantenido juntos siempre. No me alcanzan las palabras para agradecerles por tanto y espero algún día pagar todo lo que han hecho por mí, los amo.

Con cariño,

Adrian

## **DEDICATORIA**

Hoy quiero dedicar este trabajo a todas las personas que supieron estar a mi lado, por todos los ratos buenos y malos que he pasado con mis compañeros de la universidad, gracias a ellos es culminado esta meta de mi vida, gracias por las risas compañeros.

Dedico infinitamente esta tesis a mis padres, quienes me apoyaron desde el primer día que ingrese a la universidad.

Quiero dedicar unas palabras de gratitud inmensa a la Ing. Fabiola Uday, ella supo ayudarme mucho en este proyecto.

Con todo mi amor y cariño,

Adrian.

## RESUMEN

Con el objetivo de elaborar dos prototipos de biopolímero, se llevó a cabo una investigación experimental, por ello se analizaron muestras de maíz INIAP-101 & Zhima Blanco para poder obtener almidón, que sirvió como materia prima para fabricar bioplástico, el almidón de maíz fue sometido a un tratamiento de hidróxido de sodio al 0.1% para mejorar el rendimiento, luego de extraído el almidón se procedió a implementar plastificantes como glicerina, ácido acético, entre otros. Los biopolímeros obtenidos fueron sometidos a pruebas de fuerza y elongación, para poder emitir criterios de resistencia. Las muestras de biopolímeros fueron llevados a un análisis de degradación aerobia y anaerobia por separado. Se determinó que el tratamiento de hidróxido de sodio funciona en la variedad (ZB), en sedimentación de 24 h y en sedimentación extendida presenta mejor rendimiento la variedad (IN). En análisis de fuerza y elongación demuestran que la variedad INIAP-101 es la más fuerte alcanzando 17N de resistencia y que el tratamiento con hidróxido mejoró la elongación del biopolímero de la misma variedad, la degradación aerobia llegó a un máximo a un 57%, y la anaerobia un 63% en 30 días. Se obtuvieron biopolímeros flexibles y aptos para pruebas mecánicas, se recomienda la simulación de factores externos como agua, temperatura y humedad en las pruebas de degradación

**Palabras clave:** almidón, bioplástico, degradación, elongación, hidróxido de sodio.

## ABSTRACT

Experimental research aimed to elaborate two biopolymer prototypes. Therefore, INIAP-101 (IN) & Zhima Blanco (ZB) corn samples were analyzed to obtain starch, which served as raw material for bioplastic production. The corn starch underwent a 0.1% sodium hydroxide treatment to improve the yield. Following starch extraction, plasticizers such as glycerin, and acetic acid, among others, were added. The biopolymers obtained were subjected to strength and elongation tests to establish resistance criteria. The biopolymer samples were subjected to separate aerobic and anaerobic degradation analyses. The sodium hydroxide treatment was found to work in the ZB variety in the 24 h sedimentation, and in the extended sedimentation, the IN variety performs better. The strength and elongation analyses showed that the INIAP-101 variety is the strongest, reaching 17N of resistance, and that the hydroxide treatment improved the elongation of the biopolymer of the same variety; the aerobic degradation reached a maximum of 57% and the anaerobic degradation 63% in 30 days. The biopolymers obtained were flexible and suitable for mechanical tests. The simulation of external factors such as water, temperature, and humidity in degradation tests is recommended.

**Keywords:** starch, bioplastic, degradation, elongation, sodium hydroxide.

## ÍNDICE

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS .....	X
LISTA DE ANEXOS.....	XI
CAPÍTULO I.....	- 12 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 12 -
1.1 OBJETIVO.....	- 13 -
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	- 13 -
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	- 13 -
CAPÍTULO II.....	- 14 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	- 14 -
2.1 INTRODUCCIÓN AL BIOPLÁSTICO.....	- 14 -
2.1.1 <i>Definición del bioplástico</i> .....	- 14 -
2.1.2 <i>Características del bioplástico</i> .....	- 14 -
2.1.3 <i>Tipos y aplicaciones de los biopolímeros</i> .....	- 15 -
2.1.4 <i>Propiedades físicas y químicas del bioplástico</i> .....	- 16 -
2.1.5 <i>Ventajas y desventajas del uso de bioplásticos</i> .....	- 16 -
2.1.6 <i>Fabricación del bioplástico a base de almidón de maíz</i> .....	- 17 -
2.1.7 <i>Ciclo de vida del bioplástico</i> .....	- 18 -
2.1.8 <i>Plastificantes</i> .....	- 18 -
a. <i>Agua destilada</i> .....	- 18 -
b. <i>Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)</i> .....	- 19 -
c. <i>Glicerina</i> .....	- 19 -
2.1.9 <i>Legislación y normativa de bioplásticos en el Ecuador</i> .....	- 19 -
a. <i>Normativa INEN</i> .....	- 20 -
b. <i>Estándares ASTM</i> .....	- 20 -
2.2 MAÍZ ( <i>ZEA MAYS L.</i> ) .....	- 21 -
2.2.1 <i>Definición</i> .....	- 21 -
2.2.2 <i>Origen</i> .....	- 21 -
2.2.3 <i>Taxonomía</i> .....	- 22 -
2.3 MAÍZ INIAP-101.....	- 22 -
2.3.1 <i>Origen de la variedad de maíz INIAP-101</i> .....	- 22 -
2.3.2 <i>Zonificación variedad de maíz INIAP-101</i> .....	- 23 -
2.3.3 <i>Características agro-morfológicas de la variedad de maíz INIAP-101</i> .....	- 23 -
2.3.4 <i>Características de calidad de la variedad de maíz INIAP-101</i> .....	- 24 -
2.4 MAÍZ ZHIMA BLANCO.....	- 24 -
2.4.1 <i>Origen de la variedad de maíz zhima blanco</i> .....	- 24 -
2.4.2 <i>Zonificación</i> .....	- 25 -

2.4.3	Características agro-morfológicas. ....	- 25 -
2.4.4	Características de calidad. ....	- 25 -
2.5	ALMIDÓN DE MAÍZ .....	- 25 -
2.5.1	Estructura del almidón.....	- 26 -
a.	Amilosa. ....	- 26 -
b.	Amilopectina. ....	- 26 -
2.5.2	Almidón como materia prima.....	- 27 -
2.5.3	Composición química del almidón. ....	- 27 -
2.5.4	Propiedades físicas del almidón de maíz.....	- 28 -
2.5.5	Proceso de obtención del almidón de maíz .....	- 28 -
2.6	BIODEGRADABILIDAD.....	- 29 -
2.6.1	Tipos de biodegradabilidad. ....	- 29 -
a.	Biodegradabilidad aerobia. ....	- 29 -
b.	Biodegradabilidad anaerobia. ....	- 30 -
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>- 30 -</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>- 30 -</b>
3.1	MATERIALES.....	- 30 -
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	- 31 -
3.3	DIAGRAMA DE FLUJO OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ.....	- 32 -
3.3.1	Selección de materia prima.....	- 32 -
3.3.2	Obtención de almidón a nivel de laboratorio.....	- 33 -
c.	Limpieza.....	- 33 -
d.	Maceración. ....	- 33 -
e.	Maceración con hidróxido de sodio. ....	- 34 -
f.	Molienda húmeda .....	- 35 -
g.	Filtración .....	- 36 -
h.	Sedimentación.....	- 36 -
i.	Secado.....	- 38 -
j.	Almidón de maíz obtenido.....	- 38 -
3.3.3	Cálculo de rendimiento del almidón. ....	- 40 -
3.3.4	pH del almidón obtenido.....	- 41 -
3.3.5	Humedad del almidón .....	- 41 -
3.4	PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO .....	- 42 -
3.4.1	Método casting. ....	- 46 -
3.4.2	Bioplástico o film degradable. ....	- 46 -
3.4.3	Diagrama de flujo para obtención de biopolímero final.....	- 47 -
3.4.4	Grosor.....	- 48 -
3.4.5	Prueba de resistencia y elongación. ....	- 48 -
	Diseño de probetas.....	- 50 -
a.	Prueba de tracción.....	- 51 -
3.5	PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD.....	- 51 -
3.5.1	Degradabilidad aerobia .....	- 51 -
	.....	- 53 -
3.5.2	Degradabilidad anaerobia .....	- 54 -
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>- 56 -</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>- 56 -</b>
4.1	RESULTADOS DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y SU RENDIMIENTO.....	- 56 -
4.2	RESULTADOS ANÁLISIS ANOVA 24 H DE SEDIMENTACIÓN.....	- 57 -
4.3	RESULTADOS ANÁLISIS ANOVA 2 A 3 DÍAS DE SEDIMENTACIÓN .....	- 60 -
4.4	RESULTADO DE ANÁLISIS DE PH.....	- 63 -
4.5	RESULTADO DE CÁLCULO DE HUMEDAD PRESENTE EN EL ALMIDÓN. ....	- 64 -

4.6	RESULTADO DE ANÁLISIS FUERZA O RESISTENCIA Y ELONGACIÓN .....	- 64 -
4.7	RESULTADOS DE DEGRADACIÓN AEROBIA.....	- 71 -
4.7.1	<i>Pérdida de masa del bioplástico con degradación aerobia.</i> .....	- 72 -
4.7.2	<i>Gráficos de degradación aerobia, pérdida de masa (gr)</i> .....	- 73 -
4.8	RESULTADOS DEGRADACIÓN ANAEROBIA .....	- 75 -
4.8.1	<i>Pérdida de masa del bioplástico con degradación anaerobia.</i> .....	- 76 -
4.8.2	<i>Gráficos de degradación anaerobia, pérdida de masa (gr).</i> .....	- 77 -
4.9	DISCUSIÓN ALMIDÓN OBTENIDO .....	- 79 -
4.10	DISCUSIÓN DEL BIOPLÁSTICO ELABORADO A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ .....	- 79 -
4.11	DISCUSIÓN DEGRADABILIDAD AEROBIA Y ANAEROBIA EMPLEADA EN LOS BIOPOLÍMEROS OBTENIDOS.....	- 79 -
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>- 81 -</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>		<b>- 81 -</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>- 82 -</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>		<b>- 82 -</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>- 83 -</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>- 89 -</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Principales provincias productoras de la variedad INIAP-101.</i> .....	- 23 -
<b>Figura 2</b>	<i>Maíz Zhima blanco</i> .....	- 24 -
<b>Figura 3</b>	<i>Estructura Molecular de la Amilosa</i> .....	- 26 -
<b>Figura 4</b>	<i>Estructura Molecular de la Amilopectina. Fuente: (Charro, 2015)</i> .....	- 26 -
<b>Figura 5</b>	<i>Diagrama de flujo para obtener almidón de maíz.</i> .....	- 32 -
<b>Figura 6</b>	<i>Limpieza del grano de maíz variedad INIAP-101</i> .....	- 33 -
<b>Figura 7</b>	<i>Estufa Memmert-UN110</i> .....	- 34 -
<b>Figura 8</b>	<i>Maceración en estufa, sin tratamiento de hidróxido de sodio</i> .....	- 34 -
<b>Figura 9</b>	<i>Maceración con hidróxido de sodio al 0.1 %</i> .....	- 35 -
<b>Figura 10</b>	<i>Molienda húmeda mediante uso de molino manual</i> .....	- 35 -
<b>Figura 11:</b>	<i>Filtración mediante malla de tela</i> .....	- 36 -
<b>Figura 12</b>	<i>Sedimentación del almidón en 24 horas</i> .....	- 36 -
<b>Figura 13</b>	<i>Sedimentación extendida del almidón de 2 a 3 días</i> .....	- 37 -
<b>Figura 14</b>	<i>Separación de la parte líquida de la sólida</i> .....	- 37 -
<b>Figura 15</b>	<i>Secado del almidón en una estufa por 24 horas a 50 °C</i> .....	- 38 -
<b>Figura 16</b>	<i>Trituración de almidón de maíz</i> .....	- 39 -
<b>Figura 17</b>	<i>Almidón de maíz obtenido de cada variedad</i> .....	- 39 -
<b>Figura 18</b>	<i>Pesaje de almidón obtenido</i> .....	- 40 -
<b>Figura 19</b>	<i>Determinación de pH del almidón obtenido</i> .....	- 41 -
<b>Figura 20</b>	<i>Muestras colocadas en el desecador, para determinar la humedad</i> .....	- 42 -
<b>Figura 21</b>	<i>Mezcla de almidón, agua destilada y aditivos plastificantes como glicerina y ácido acético</i> .....	- 43 -
<b>Figura 22</b>	<i>Bioplástico obtenido muy quebradizo</i> .....	- 44 -
<b>Figura 23</b>	<i>Aditivos plastificantes: sorbitol y gretina industrial</i> .....	- 45 -
<b>Figura 24</b>	<i>Aplicación del método casting en placa de vidrio</i> .....	- 46 -
<b>Figura 25</b>	<i>Bioplástico final obtenido de cada variedad de maíz y almidón</i> .....	- 47 -
<b>Figura 26</b>	<i>Diagrama de flujo del proceso de obtención de bioplástico</i> .....	- 47 -
<b>Figura 27</b>	<i>Medición de grosor del bioplástico</i> .....	- 48 -

<b>Figura 28</b> Transductor de fuerza, capacidad 20 kN .....	- 49 -
<b>Figura 29</b> Maquina universal de ensayos.....	- 49 -
<b>Figura 30</b> Requisitos para realizar las probetas.....	- 50 -
<b>Figura 31</b> Probetas para pruebas de fuerza y elongación .....	- 50 -
<b>Figura 32</b> Pesaje de muestras diariamente, para degradabilidad aerobia.....	- 52 -
<b>Ilustración 33</b> Colocación de muestras en sustrato y cajas Petri.....	- 52 -
<b>Figura 34</b> Degradación aerobia, fotografiado cada 5 días por un mes .....	- 53 -
<b>Figura 35</b> Bolsas herméticas para la prueba de degradación anaerobia .....	- 54 -
<b>Figura 36</b> Degradación anaerobia, fotografiado cada 5 días por un mes .....	- 55 -
<b>Figura 37</b> gr de almidón obtenidos por cada repetición .....	- 56 -
<b>Figura 38</b> Fuerza y desplazamiento variedad (IN). .....	- 66 -
<b>Figura 39</b> Fuerza y desplazamiento variedad (INT). .....	- 66 -
<b>Figura 40</b> Fuerza y desplazamiento variedad (ZB). .....	- 67 -
<b>Figura 41</b> Fuerza y desplazamiento variedad (ZBT). .....	- 68 -
<b>Figura 42</b> Degradabilidad aerobia variedad de maíz INIAP-101.....	- 73 -
<b>Figura 43</b> Degradabilidad aerobia variedad de maíz INIAP-101 con tratamiento de NaOH. ....	- 73 -
<b>Figura 44</b> Degradabilidad aerobia variedad de maíz (ZB). .....	- 74 -
<b>Figura 45</b> Degradabilidad aerobia variedad de maíz Zhima blanco con tratamiento de NaOH (ZBT). .....	- 74 -
<b>Figura 46:</b> Degradabilidad anaerobia variedad de maíz INIAP-101. ....	- 77 -
<b>Figura 47</b> Degradabilidad anaerobia variedad de maíz INIAP-101 con tratamiento de NaOH ..	- 77 -
<b>Figura 48</b> Degradabilidad anaerobia variedad de maíz (ZB). .....	- 78 -
<b>Figura 49</b> Degradabilidad aerobia variedad de maíz Zhima blanco con tratamiento de NaOH (ZBT). .....	- 78 -

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Taxonomía del maíz .....	- 22 -
<b>Tabla 2</b> Principales características físicas y agromorfológicas del maíz INIAP-101 .....	- 23 -
<b>Tabla 3:</b> Principales características de evaluación de calidad del maíz INIAP-101.....	- 24 -
<b>Tabla 4:</b> Características agro-morfológicas del maíz zhima blanco .....	- 25 -
<b>Tabla 5:</b> Características de calidad del maíz zhima blanco .....	- 25 -
<b>Tabla 6</b> Diseño para representación de pruebas de % de rendimiento del maíz.....	- 31 -
<b>Tabla 7</b> Cantidad de aditivos plastificantes tomados como indicación para dosificar .....	- 44 -
<b>Tabla 8</b> Resultados del porcentaje de rendimiento de almidón de todas las variedades de maíz. ....	- 57 -
<b>Tabla 9</b> Análisis ANOVA, resultados de rendimiento del almidón en sedimentación de 24 h. ....	- 58 -
<b>Tabla 10</b> Análisis ANOVA, resultados de rendimiento del almidón en sedimentación de 2 a 3 días. ....	- 61 -
<b>Tabla 11</b> Resultados del análisis de pH del almidón .....	- 63 -
<b>Tabla 12</b> Medidas de referencia con respecto al pH obtenido .....	- 63 -
<b>Tabla 13</b> Resultado de porcentaje de humedad dentro de las variedades de maíz .....	- 64 -
<b>Tabla 14</b> Resultados de referencia % de humedad del almidón obtenido. ....	- 64 -
<b>Tabla 15</b> Máxima fuerza y desplazamiento de las dos variedades de maíz con y sin tratamiento de hidróxido de sodio. ....	- 65 -
<b>Tabla 16</b> Referencia de máximo esfuerzo de bioplásticos en unidad de Newtons y con diferente materia prima.....	- 69 -
<b>Tabla 17</b> Referencias de máximo porcentaje de elongación de bioplásticos y con diferente materia prima.....	- 69 -
<b>Tabla 18</b> Resultado de pérdida de masa (gr) de almidón en 30 días, degradación aerobia.....	- 71 -
<b>Tabla 19</b> Resultado del cálculo de pérdida de masa (gr), degradación aerobia .....	- 72 -
<b>Tabla 20</b> Resultado de pérdida de masa (gr) de almidón en 30 días, degradación anaerobia ..	- 75 -

**Tabla 21:** Resultado del cálculo de pérdida de masa (gr), degradación anaerobia. .... - 76 -

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo 1:** Instrumentos y equipos de laboratorio..... - 89 -

**Anexo 2:** Reactivos y plastificantes..... - 93 -

**Anexo 3:** Informes de prueba de elongación y fuerza generados por el laboratorio de Ing. Civil de la Universidad Politécnica Salesiana. Variedad (IN), (INT), (ZB), (ZBT). .... - 95 -

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se presentan niveles muy altos de contaminación, específicamente de la gran cantidad de residuos sólidos no degradables derivados del petróleo. Este problema creado por el hombre ha sido manejado por muchos países y activistas que buscan formas de reducir los desechos (Redrobán, 2013). Los bioplásticos son materiales plásticos que se derivan de fuentes biológicas, como plantas, animales y microorganismos (Chico & Sampedro, 2022). A diferencia de los plásticos convencionales que están hechos de petróleo, los bioplásticos se producen a partir de recursos renovables y pueden ser biodegradables o compostables (Gómez, 2016).

Los plásticos de un solo uso, hace referencia a un residuo que puede perdurar durante muchos años y que ha sido origen de muchos otros problemas secundarios como: la proliferación de micro plástico, el estancamiento de alcantarillados en ciudades urbanas, la muerte de especies marinas por ingerir plástico triturado (De la Torre, 2019).

Los datos obtenidos por el Ministerio del Ambiente señalan que, en Latinoamérica se depositan a la basura 17.000 toneladas de plástico de origen fósil. Ecuador no se queda atrás, ya que en el territorio nacional se producen 117.000 toneladas de plástico anualmente, esto representa el equivalente a 7.300 camiones cargados de botellas del material contaminante, y tarda unos 500 años en lograr degradarse (J. López et al., 2020). Por lo tanto, es necesario el insertar nuevos hábitos de consumo, conllevando la aplicación de estrategias tecnológicas y aplicativos para reducir la gran cantidad de residuos plásticos en nuestro territorio.

El objetivo de esta investigación es la obtención de un prototipo de bioplástico a partir de dos granos diferentes de semilla de maíz, las muestras fueron obtenidas del cantón Paute, con ello se realizó la experimentación y desarrollo de películas o films en bandejas, las cuales se analizaron pruebas de resistencia, elongación y biodegradabilidad en ambiente aerobio y anaerobio.

La comparación mediante dos tipos de almidón de maíz ayudará a ampliar la investigación, pudiendo así establecer que grano de maíz presenta una mejor calidad o rendimiento en los diferentes polímeros que se vayan a producir.

La investigación servirá como un aporte y también será muy útil para los futuros investigadores, ya que ayudará a determinar qué tipo de semilla de maíz y aditivo funciona de mejor manera para poder obtener bioplástico. Las diferentes características mecánicas serán comparadas con la de otros autores, para establecer diferencias de resistencia y elongación del material.

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 Objetivo general**

Elaborar bioplástico mediante el uso de dos variedades de semilla de maíz, para el desarrollo de un biopolímero degradable.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Obtener almidón de maíz mediante molienda húmeda, para materia prima o base biológica de bioplástico.
- Evaluar las propiedades físicas de los prototipos de bioplásticos elaborados, mediante pruebas de elongación para determinar su resistencia material.
- Evaluar la degradabilidad del bioplástico obtenido, en ambiente aerobio y anaerobio para determinar el tiempo de vida útil, mediante el uso de cajas y sustrato.

# CAPÍTULO II

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Introducción al bioplástico.

#### 2.1.1 Definición del bioplástico.

El bioplástico es un material que se produce de distintos materiales de origen biológico o base degradable, son renovables, pueden ser la caña de azúcar, el almidón de maíz, aceite de soja, la celulosa entre otros varios (Pluas et al., 2020). La diferencia contra los plásticos comunes es que son fabricados a partir de origen fósil o petróleo, en cambio los bioplásticos son biodegradables y también compostables, esto nos quiere decir que pueden degradarse o descomponerse en el medio ambiente de forma natural sin generar impacto sobre el suelo, o agua, ya que este no deja residuos (J. V. López, 2011).

#### 2.1.2 Características del bioplástico.

- Biodegradabilidad: Existe mucha diferencia significativa contra los plásticos de origen fósil, ya que los bioplásticos degradan en el medio ambiente y logran descomponerse. El bioplástico dependerá mucho su fabricación o para lo que este hecho, ya que existe un periodo o tiempo límite de descomposición, varios pueden ir de un mes incluso varios meses (P. N. Meza, 2016).
- Materia prima renovable: Como ya se mencionó antes, el bioplástico está hecho a base de materiales biológicos, los cuales pueden ser conseguidos fácilmente, como el almidón, la caña de azúcar, residuos de distintas frutas, etc.(Avellán et al., 2020).
- Menor impacto ambiental: Por lo general los biopolímeros tiene bajo impacto ambiental a comparación de un plástico común de origen fósil (Pizá et al., 2017). Ya que en su producción estos producen menor cantidad de emisiones de gases que pueden ir directo a la atmosfera, también se reduce drásticamente la cantidad de residuos que llegan a parar en los vertederos (Casalino Del Águila, 2020)
- Propiedades físicas: Si bien podemos analizar distintos parámetros del producto de bioplástico, en esta investigación se centra únicamente en parámetros físicos, los cuales contienen tienen propiedades físicas similares a las de los plásticos comunes de origen fósil. Pueden ser flexibles o rígidos, transparentes o con tonalidades oscuras, resistentes a grandes esfuerzos o débiles que se rompen con pequeñas cargas (Francisco et al., 2021).
- Reciclabilidad limitada: Si bien el bioplástico es considerado como biodegradable en el medio ambiente, tampoco es que todos los bioplásticos sean reciclables y esto también conlleva a que no existen sistemas de reciclaje que estén hechos para procesar dichos productos (López, 2011).

- Costo: Los productos de bioplástico llegan a tener un mayor costo que un plástico común, esto se debe al uso de las materias primas y plastificantes, también hay que tener en cuenta el proceso de producción. Sin embargo se espera que en el futuro exista una mayor demanda del bioplástico, por lo tanto las tecnologías de productividad se volverían más eficientes, y los precios podrían reducirse significativamente (Pizá et al., 2017).

### **2.1.3 Tipos y aplicaciones de los biopolímeros.**

El material biodegradable proviene de materias primas biológicas, pueden ser los animales, plantas y microorganismos. Los materiales mencionados cada vez tienen mayor acogida entre los activistas y personas que buscan proteger el medio ambiente. Se presentan a continuación varios tipos de bioplásticos según su origen.

- Ácido poliláctico (PLA): Este se produce a través de fuentes renovables como la caña de azúcar, el maíz. Los cuales son degradables y son usados en su mayoría como reemplazo de productos de un solo uso como cucharas, fundas y envases (Campozano & Antonieta, 2022).
- Polihidroxialcanoatos (PHA): Son bioplásticos que se originan de las bacterias y varios microorganismos, son usados en distintos productos como los envases, artículos médicos y bolsas (Zambrano & Antonieta, 2021).
- Polímeros termoplásticos almidón (TPS): Este grupo de bioplástico son producidos a partir de los almidones sea de papa, maíz, incluso tapioca. Son degradables en el medio ambiente y son usados para fabricar productos de un solo uso como envases, cucharas, bolsas de compra y bandejas de alimento (Villada et al., 2008).
- Policaprolactona (PCL): Es un plástico artificial que puede degradarse por acción de los microorganismos, pero en general este polímero es considerado más un aditivo para otros plásticos ya que puede mejorar las características físicas del mismo (Orellana, 2018).

Los usos que se les da a los bioplásticos son varios y están en una continua expansión. Aquí se muestran algunas aplicaciones:

- Agricultura: En uno de los usos que se pueden aplicar en la industria agrícola es fabricar películas o films degradables, los cuales son utilizados para tapar los cultivos, una vez el plástico es utilizado y no sirve puede ser desechado y sin afectar las condiciones del suelo (ASOBIOCOM, 2018).
- Envases y embalajes: Los bioplásticos pueden ser usados como reemplazo de envases o embalajes para alimentos que necesitan consumirse rápido (Posada, 2022). Son utilizados en la producción de desechables para reemplazar cucharas, vasos, platos de un solo uso. El cambiar a un estilo más amigable con el medio ambiente (Paredes, 2020).

En conclusión, los productos biodegradables, son el reemplazo sostenible de los plásticos de origen fósil. Se espera que su uso se expanda más y en diversas industrias, esto contribuirá a la disminución de los residuos sólidos.

#### **2.1.4 Propiedades físicas y químicas del bioplástico.**

##### **Propiedades físicas:**

- **Densidad:** La densidad puede ser aplicada a una relación de masa sobre volumen, esta puede ser variable y dependerá mucho del material con el que se fabrica (Chico & Sampedro, 2022).
- **Resistencia mecánica:** La resistencia de los bioplásticos siempre va a ser menor que un plástico común, ya que estos provienen de materiales orgánicos, sin embargo, pueden ser mejorados con diferentes aditivos plastificantes (P. Meza et al., 2019).
- **Flexibilidad:** La flexibilidad es una característica también de los plásticos, pero a comparación de los bioplásticos, resultan ser más flexibles y no presentan una rigidez, se añade la glicerina para poder darle la capacidad de flexionar (Alcaide et al., 2020).
- **Transparencia:** La transparencia es una particularidad, pues dependiendo de que material se elabore puede obtener cierta opacidad o claridad, esto dependerá mucho sobre el objetivo para los cuales estén elaborados (Bejarano, 2018).

##### **Propiedades químicas:**

- **Biodegradabilidad:** Los biopolímeros son degradables en el medio, esto no quiere decir que se degrada por la intervención de microorganismo presentes en el suelo o agua pueden ser las bacterias, algas u hongos (Sernaqué et al., 2020).
- **Compostabilidad:** La mayoría de bioplásticos solo están hechos para degradarse sin embargo existen algunos tipos que pueden ser compostables, lo cual indica que se descompone, bajo condiciones controladas de compostaje, estableciendo un tiempo corto, dependerá mucho del material fabricado o la materia prima que se usó (Cortez et al., 2022).
- **Termo degradabilidad:** Los bioplásticos también pueden degradarse bajo condiciones de calor, a temperaturas altas se degrada o pueden derretirse, todo siempre y cuando este en presencia de oxígeno (Alarcón & Arroyo, 2016).

#### **2.1.5 Ventajas y desventajas del uso de bioplásticos.**

##### **Ventajas:**

- **Menor impacto ambiental:** En la producción de bioplástico tiene un menor impacto ambiental, ya que los procesos industriales de producción son muy leves, con esto se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera (Aponte & Soledad, 2022).

- Sostenibilidad ambiental: Como antes ya se mencionó el bioplástico tiene su mayor ventaja en que puede ser hecho a base de productos orgánicos, lo cual es una gran fuente renovable, esto hace que sea una alternativa sostenible en comparación con los plásticos de origen fósil. Además de descomponerse en tiempos relativamente cortos, sin dejar residuos sólidos presentes en el suelo o en los ríos y mares (INECC, 2020).
- Versatilidad: Si bien el bioplástico todavía está en un auge de crecimiento, puede reemplazar muchos productos, tales como los envases, cucharas, o productos que solo se utilicen una sola vez (Pizá et al., 2017).

Desventajas:

- Disponibilidad limitada: Si bien es cierto que su principal materia prima son los productos o materiales orgánicos, dependerá mucho el poder adquirir este material, cabe resaltar también que el proceso de producción es a aun más caro, debido a que se utilizan varios aditivos plastificantes, además del posible uso de maquinarias hechas para obtener este producto, esto lleva a ciertas limitaciones para poder fabricarlos en grandes producciones (Morales, 2018).
- Problemas de reciclaje: Los bioplásticos enfrentan un problema que radica en la separación de los otros materiales, ya que el bioplástico no se puede reciclar ni reutilizar, únicamente está destinado a ser degradado en el medio más común que es el suelo (Durán & Espinosa, 2021).

Competencia por el uso de tierras: Existe la demanda o producción de otro tipo de materiales biológicos, por lo cual se necesitan grandes extensiones de tierra, esto conlleva a un conflicto con la producción de alimentos, por ejemplo existen bioplásticos hechos a base de rastrojo de maíz, por lo que necesita grandes cantidades de este material, dejando de lado el objetivo o fin alimenticio (FAO, 2011).

### **2.1.6 Fabricación del bioplástico a base de almidón de maíz**

El bioplástico puede ser obtenido de muchos materiales de base orgánica, como el maíz, almidón, yuca, papa, etc. El almidón de maíz es un producto que se encuentra en gran cantidad, por lo tanto, es una materia renovable y una materia prima óptima para el desarrollo de bioplástico. El desarrollo de un biopolímero lo describe (Avellán et al., 2020) de la siguiente manera:

- Selección de la materia prima
- Obtención de almidón de maíz
- Mezcla de aditivos plastificantes
- Aplicación del método casting
- Secado del biopolímero
- Prueba de degradación

### **2.1.7 Ciclo de vida del bioplástico.**

Todo producto tiene un ciclo de vida, desde su fabricación hasta su disposición final, el bioplástico también cumple este ciclo y puede variar mucho dependiendo del tipo de biopolímero y las condiciones en las que se expone dicho producto. No existe mucha diferencia de un plástico común, la única diferencia notaria es en su etapa de fin de vida (Bishop et al., 2021). Aquí se muestran el ciclo de vida del bioplástico.

1. **Materias primas:** Primero el biopolímero es producido a través de los materiales orgánicas, sea el maíz, yuca, papa o la celulosa. Esta materia prima primero puede ser aprovechada por cultivos o bien sacado de la naturaleza (Alvares & Carpio, 2019).
2. **Producción:** El material biológico obtenido se trata y por diferentes métodos de laboratorio o industriales se crea el biopolímero. Dentro del proceso de fabricación del producto incluyen otros procesos como el moldeo, la extracción y el soplado (Holguin, 2019).
3. **Uso:** El biopolímero es usado en distintas aplicaciones como ya se mencionó, en crear fundas, cucharas, incluso platos desechables y muchas otras aplicaciones (Pizá et al., 2017).
4. **Desecho:** Luego del uso que se le dio, puede llegar a ser desechado una de las maneras es para ser destinado al compostaje y otra directamente hacia los vertederos, si se tuviera un mejor sistema de separación incluso llegaría a ser incinerado (Cortez et al., 2022).
5. **Descomposición:** A diferencia del plástico común, el bioplástico llega a descomponerse en el medio ambiente, ya sea por microorganismos y por factores como el calor, luz y temperatura. Dentro del proceso de degradación se genera dióxido de carbono y también materia orgánica (Francisco et al., 2021).
6. **Fin de vida:** Al final cuando el bioplástico se ha degradado en casi el 100 % de su materia se acaba su ciclo de vida (ECOPLAS, 2022).

### **2.1.8 Plastificantes**

La normativa ASTM D883 establece que un plastificante es un aditivo que puede ser añadido al plástico, con el fin de que pueda mejorar sus características físicas o mecánicas incluso la flexibilidad (Charro, 2015). La mezcla de otro tipo de plastificantes puede ayudar a disminuir la viscosidad y debilidad flexiva del plástico (Holguin, 2019). A continuación, se presentan varios plastificantes que son los más usados comúnmente:

#### **a. Agua destilada.**

El agua destilada es aquel líquido que no tiene ninguna impureza y es usada más comúnmente como aditivo plastificante, ya que con esto se logra la separación estructural del almidón en el proceso de producción o mezcla de los aditivos (Mori, 2022). Es un líquido

muy popular ya que es usado en diferentes procesos industriales por su bajo costo y disponibilidad inmediata, se dice que también mejora las características mecánicas del plástico (Ledesma, 2021).

**b. *Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH).***

El ácido acético también es usado como un aditivo plastificante, ya que es un líquido que no tiene color y es muy soluble en el agua, este producto también ayuda a disolver materiales orgánicos (Montero, 2018). También adopta otros nombres como ácido etanoico, y tiene mucha disponibilidad ya que se encuentra en el vinagre, la fórmula del ácido acético es CH<sub>3</sub>COOH, dentro de los hogares es usado también como un desinfectante de alimentos y conservante natural (Guamán, 2019).

**c. *Glicerina.***

La glicerina no es un producto tóxico, siempre y cuando se utilice en mezcla con otras sustancias o productos, es usado como un lubricante en ciertas maquinarias o equipos en el sector alimentario, es un plastificante muy común ya que este ayuda a dar blandura suave e hidrata al almidón, este aditivo ayuda a que el plástico formado no se retrograde o se deforme con facilidad, permite la traslación de los enlaces poliméricos en el almidón (Ledesma, 2021).

**2.1.9 Legislación y normativa de bioplásticos en el Ecuador**

En Ecuador, no existe una normativa específica sobre el uso de bioplásticos y manejo del material. Sin embargo, el país ha adoptado medidas para fomentar la sostenibilidad ambiental y reducir la contaminación causada por los residuos sólidos.

En este sentido, en el 2020 se dio a conocer la (LEY ORGÁNICA PARA LA RACIONALIZACIÓN, REUTILIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO, 2020), donde se asume la responsabilidad afectiva de todos los encargados involucrados en la fomentación, manejo y gestión adecuada de los residuos sólidos. También se insta la obligación de crear planes y programas para poder reducir, reusar y reciclar los residuos.

Según el Art. 4 sobre las (POLÍTICAS PARA GESTIÓN INTEGRAL DE PLÁSTICOS EN EL ECUADOR, 2014), es prioritario el fomentar a nivel nacional la innovación investigativa, la transferencia de tecnología y creación de materiales biodegradables. Sobre todo, importante el desarrollo de laboratorios que sean certificados, para analizar y poner a prueba los diferentes materiales. Las entidades tanto públicas como privadas deberían invertir en este tipo de investigaciones.

En conclusión, en el Ecuador aún no existe una normativa específica sobre el fomento o uso obligatorio de bioplásticos, pero el país está comprometido en aplicar

medidas de sostenibilidad y fomento a la preservación del medio ambiente, esto también sumarle el impulso de la reducción de la contaminación. Mencionado todo esto se espera que a la larga el Ecuador, tenga mejoras en cuanto al uso de bioplásticos y que pueda sustituirse en muchas áreas comerciales o productivas.

#### **a. Normativa INEN**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) es la entidad encargada de establecer normas técnicas en el Ecuador. En cuanto a los bioplásticos, el INEN ha establecido ciertas normas muy limitadas y escasas en referente a producción, uso y posible comercialización de producto como tal bioplástico.

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2644, decreta un texto de referencia sobre el clasificar y diferencias comparativas sobre la velocidad de degradación controladas en laboratorio, también evalúa la pérdida de las propiedades tanto físicas y térmicas, fotooxidación y biodegradación (NTE INEN 2644, 2013).

Sin embargo, esta normativa no está dirigida enteramente a bioplásticos, ya que no existe ninguna referencia actual sobre su fabricación o degradación en el Ecuador.

El INEN continuamente estableció normas para poder gestionar los residuos, como la regulación INEN 14021, esta normativa logra que mediante un etiquetado ambiental se pueda distinguir los productos con base biológica (NTE INEN-ISO 14021, 2014).

En resumidas cuentas, el INEN si tiene normas técnicas muy relacionadas en cuanto a la gestión de residuos con base biológica, pero aún no se establecen normativas generales relacionadas a pruebas de resistencia o elongación de bioplástico, por lo que se debe recurrir a normativas de otros países.

#### **b. Estándares ASTM.**

La ASTM (American Society for Testing and Materials), es una entidad internacional que busca el desarrollo de normas técnicas para muchas clases de materiales y productos. En relación con el bioplástico, existen varias normas técnicas donde exigen requisitos y especificaciones para su elaboración, también diferentes pruebas como elongación y fuerza (Rodriguez, 2014).

A continuación, se mencionan algunas de las normas técnicas ASTM relacionadas con los bioplásticos:

- ASTM D6400: La normativa establece tanto bases para desintegración, la biodegradación y no presentar efectos adversos en la calidad del compost (Galloway, 2010).
  - 1.) Desintegración: Después de comenzar con el producto cortado a 2 cm de longitud, en 12 doce semanas de compostaje bajo condiciones de compostaje controladas en laboratorio, el 90% del producto debe pasar un tamiz de 2 mm.

2.) Biodegradación: El 60 % del carbono orgánico debe convertirse en dióxido de carbono al final del período de prueba, en comparación con el control positivo (celulosa).

3.) Sin Efectos Adversos en la Calidad del Compost

- Crecimiento de las Plantas: La tasa de germinación y la biomasa vegetal de los abonos de muestra no debe ser inferior al 90 % de los correspondientes abonos en blanco para dos especies de plantas diferentes siguiendo la Directriz 208 de la OCDE con las modificaciones que se encuentran en el Anexo E de EN 13432.
- Metales pesados: debiendo contener en el caso de Arsénico un valor límite de 5 ppm.
- ASTM D6866: Esta norma indica ciertos requisitos para poder analizar la cantidad de carbono presente en materiales de base biológica, en ellos se incluyen los bioplásticos. Con esta normativa nos permite calcular el porcentaje del carbono presente en el material, mediante pruebas con isótopos (TUV Austria, 2019).
- ASTM D7081: La siguiente norma indica las condiciones necesarias para analizar el desempeño de los bioplásticos en relación a la biodegradación en medios acuáticos (European Bioplastics, 2016).
- ASTM D7475: La norma informa sobre parámetros y especificaciones de materiales degradables que pueden ser sometidos a pruebas térmicas y compostables, para ser usadas en envases o embalajes (HM Government, 2021).

Estas son un poco de muchas normativas y especificaciones que están relacionadas con el bioplástico, sin embargo, a medida que avanza la tecnología también deben irse implementando otras nuevas, y diferentes métodos de análisis.

## **2.2 Maíz (*Zea mays L.*)**

### **2.2.1 Definición.**

Desde un punto de vista analítico y científica, el maíz es una especie (*Zea mays L.*), que compete a la familia de las gramíneas. Una característica nutricional es que tiene una fuente de carbohidratos, vitaminas, fibra, minerales y antioxidantes, también buenas cantidades de proteínas, contiene también almidón, el almidón es un polisacárido muy complejo y es usado para diversos usos industriales y productivos, tales como el bioplástico, es una importante materia prima a la hora de poder elaborar bioplásticos, ya que el almidón de maíz es considerado una fuente renovable, por otro lado su contra parte los recursos de origen fósiles son muy limitados (Avellán et al., 2020).

### **2.2.2 Origen.**

Los diversos estudios han demostrado que este cereal se originó principalmente en América Central, y también se cree que se originó en México, aproximadamente hace unos 7000 años, de la evolución de una planta conocida como Teosinte (Sánchez et al., 2018). Los descendientes de los mexicanos tenían mucho interés en poder cultivar el maíz, de ahí se ha puesto el nombre como Elote, de ahí que se originaron varias especies con diferentes

formas y colores, en el Ecuador, el maíz empezó a cultivar aproximadamente hace unos 6.500 años posiblemente en la península de Santa Elena, también se cree que cierta cultura llamada “ Las Vegas” sembraron y cosecharon este cereal, lo que ayudo mucho al desarrollo y creación de la horticultura (Guacho, 2014).

### 2.2.3 Taxonomía.

El maíz que se conoce también como (*Zea mays L.*), pertenece a la familia Poáceas (Gramíneas) y a la tribu Maydeas, esta también tiene varias especies, se la conocen como Teocintle y Tripsacum, comúnmente llamado maicillo o arrocillo, son muy cercanas al maíz. Ya que son especies provenientes de América. Originalmente los científicos y taxónomos clasificaban a *Zea* y *Euchlaena*, al que concierne teocintle, como especies diferentes. Gracias a los estudios científicos se ha probado lo contrario y es que ambos géneros pertenecen al *Zea*, ya que comparten una misma hibridación, todo esto comprobado por estudios citogenéticos (Rios, 2021).

**Tabla 1:** Taxonomía del maíz

Taxonomía del maíz	Descripción
Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	<i>Zea</i>
Especie	<i>Mays</i>
Nombre Científico	<i>Zea mays L.</i>

**Fuente:** (Abarca, 2014, p.4)

## 2.3 Maíz INIAP-101

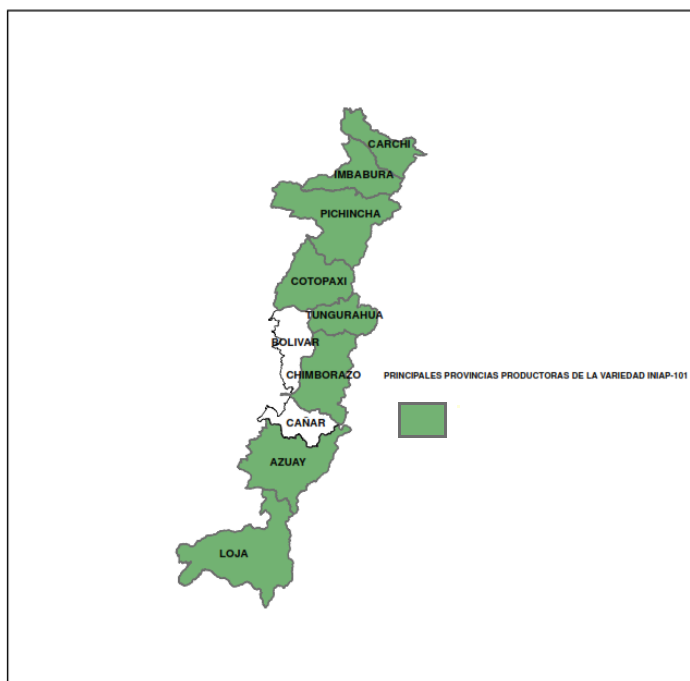
### 2.3.1 Origen de la variedad de maíz INIAP-101.

El maíz INIAP-101, es una variedad que ha sido experimentada y desarrollada en laboratorios certificados del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), con el fin de que pueda ser adaptado a ciertas regiones frías del Ecuador, ya que el país cuenta con diferentes altitudes lo que hace un clima muy variable en ciertas zonas. Esta variedad como tal se desarrolló en la estación experimental llamada “Santa Catalina”, desde el año 1971 a 1979. La variedad se desarrolló a partir de otra, llamada “ Cacahuazintle”

proveniente de México, también se trabajó con el mejoramiento de otras variedades provenientes de otras entidades (Caviedes C, 2003).

### 2.3.2 Zonificación variedad de maíz INIAP-101.

La variedad mencionada es adecuada para crecer en los valles centrales de la región Interandina, en altitudes que oscilan entre 2.400 y 3.000 ms.n.m.



**Figura 1** Principales provincias productoras de la variedad INIAP-101.

### 2.3.3 Características agro-morfológicas de la variedad de maíz INIAP-101.

**Tabla 2** Principales características físicas y agromorfológicas del maíz INIAP-101

<b>Características físicas y agro morfológicas</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de Grano	Grande, Harinoso
Color del grano tierno	Blanco
Color del grano seco	Blanco
Color de tusa	Blanco

**Fuente:** (Programa de maíz y Dpto. de Producción de Semillas de la EESC, 2002)

### 2.3.4 Características de calidad de la variedad de maíz INIAP-101.

**Tabla 3:** Principales características de evaluación de calidad del maíz INIAP-101

Características de evaluación de calidad	Porcentaje
Humedad:	7,63
Proteína	6,39
Almidón	74,24

**Fuente:** Departamento de Nutrición y Calidad, EESC (2002)

## 2.4 Maíz Zhima Blanco

### 2.4.1 Origen de la variedad de maíz zhima blanco

El maíz Zhima blanco, podría considerarse una especie de maíz también mejorado, es una variedad que se siembra y cosecha en toda la región interandina del Ecuador. Por lo general esta variedad se siembra a grandes altitudes de aproximadamente 2.720 metros sobre el nivel del mar, es caracterizado por tener una textura harinosa, de un tamaño considerable y presenta un color blanco. Su mazorca tiene una forma de cilindro y contienen en sus filas entre 8 y 10 granos; el maíz zhima mejorado, cuya semilla se utiliza en casi toda la región interandina del Ecuador, tiene su origen en el maíz común; esta variedad se cultiva generalmente a una altitud de 2.720 metros sobre el nivel del mar y presenta algunas características distintivas, tales como su textura harinosa, tamaño grande y color blanco. Sus mazorcas son cilíndricas y contienen entre 8 y 10 hileras de granos con una tusa delgada (Balarezo, 2014).



**Figura 2** Maíz Zhima blanco

#### 2.4.2 Zonificación.

La producción de este híbrido ha tenido un gran impacto en las provincias de Azuay y Cañar, ya que ha mejorado significativamente la productividad, el rendimiento y las características agronómicas. Además, este híbrido ha demostrado ser altamente adaptable a estas regiones, lo que ha permitido reducir el desgaste del suelo y aprovechar los fertilizantes orgánicos disponibles en la zona (Ortiz, 2012).

En resumen, la producción de este híbrido ha sido muy beneficiosa para estas provincias en términos de agricultura sostenible y productiva.

#### 2.4.3 Características agro-morfológicas.

**Tabla 4:** Características agro-morfológicas del maíz zhima blanco

<b>Características agro-morfológicas</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de Grano	Cristalino-harinoso
Color del grano tierno	Blanco grande amorochado
Color de tusa	Blanco

**Fuente:** (INIAP, 2003)

#### 2.4.4 Características de calidad.

**Tabla 5:** Características de calidad del maíz zhima blanco

<b>Característica</b>	<b>Porcentaje</b>
Humedad:	12
Proteína	6,39
Almidón	24,2

**Fuente:** (DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, 2013)

### 2.5 Almidón de maíz

El almidón de maíz es el grano como tal triturado y convertido en polvo a través de distintos procesos físicos, este es obtenido a partir de la parte del endospermo del grano de maíz y es la parte que contiene la mayor cantidad de carbohidratos y proteínas (Agama et al., 2013).

El proceso de extraer el almidón, en breves y resumidas palabras implica separar el endospermo de todo el grano, este proceso conlleva muchos lavados y filtraciones, con el fin de quitar las impurezas luego de todos los procesos se muele y se deja secar para al final obtener un polvo blanco y fino (Beltrán, 2006).

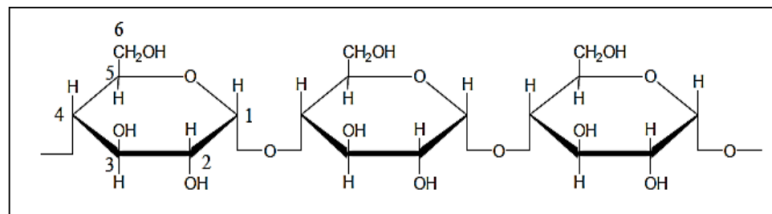
En la industria el almidón es muy usado como recubrimiento comestible, ya que existe en abundancia, tiene un bajo costo de producción y además de ser considerado biodegradable, una de las ventajas del almidón es que es insípido, inodoros y son transparentes (Ramos et al., 2018).

En resumen, el almidón de maíz es polvo fino y blanco que se extrae por procesos físicos, se obtiene partir del endospermo, y tiene como fin una gran variabilidad de usos tanto industriales como alimenticios.

### 2.5.1 Estructura del almidón.

#### a. *Amilosa.*

La amilosa es una estructura lineal, una molécula compuesta por unidades de glucosa y enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4, el beneficio es que la amilosa es menos soluble en líquidos o en agua, a diferencia de la amilopectina, esto la hace muy útil en la fabricación o



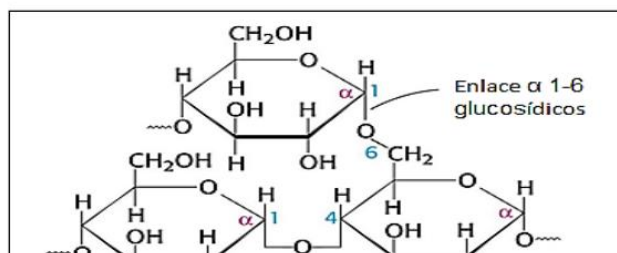
**Figura 3** Estructura Molecular de la Amilosa

Fuente: (Charro, 2015)

producción de alimentos y productos químicos, es un componente importante en muchos productos de alimentación, ya que esta molécula actúa como un estabilizador, espesante y agente de gelificación (Ledezma, 2021).

#### b. *Amilopectina.*

La amilopectina está compuesta por unidades de glucosa, una molécula ramificada, que está compuesta por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6; esta ramificación causa características únicas al almidón, por ejemplo, la capacidad de crear geles y también suspender partículas en medios líquidos o soluciones acuosas; dentro del grano de maíz la amilopectina es la parte más importante del almidón, está conformado entre un 70-80% de toda la masa de almidón, dentro de la fabricación de bioplásticos, la amilopectina actúa como un buen agente de gelificación o espesante (Charro, 2015).



**Figura 4** Estructura Molecular de la Amilopectina.

Fuente: (Charro, 2015)

### **2.5.2 Almidón como materia prima.**

El polvo blanco y fino de almidón es una materia prima muy común y es usado para crear biopolímeros, estos productos que vienen hecho de almidón de maíz adoptan el nombre de PLA (ácido poliláctico), son producidos por distintos procesos industriales (Chico & Sampedro, 2022).

El proceso para obtener el PLA, dependerá de la cantidad de grano de maíz para formar almidón y luego un proceso de polimerización por condensación, donde su ácido láctico viene derivado de la fermentación anaerobia de ciertos azúcares que contengan carbohidratos entre ellos se incluye la caña de azúcar, el maíz o la tapioca (Rampérez, 2021).

Los productos hechos a base de almidón de maíz, en este caso los bioplásticos son muy buenos para el medio ambiente, ya que no contaminan y no generan grandes residuos, además de que se degradan en periodos cortos, lo más importante a destacar es que el almidón es un recurso renovable (Villamar et al., 2020).

Sin embargo, los bioplásticos a base de almidón de maíz también presentan algunas limitaciones. Tienen una menor resistencia mecánica y térmica que los plásticos convencionales, lo que puede limitar su uso en algunas aplicaciones (Vélez et al., 2021).

Por otra parte, se debería discutir sobre el uso de agua y energía para poder crear los biopolímeros, ya que al igual que todo producto este necesita de otros recursos para ser creado, generando así una huella de carbono y de agua.

### **2.5.3 Composición química del almidón.**

En términos generales, la composición química del almidón de maíz es la siguiente:

Amilosa: alrededor del 20-30%.

Amilopectina: alrededor del 70-80%.

Agua: alrededor del 10-15%.

Cenizas: alrededor del 0,2-0,5%.

Otros componentes: pequeñas cantidades de lípidos, proteínas y oligosacáridos (Martínez, 2013).

Hay que resaltar que la composición del almidón puede variar significativamente ya que dependerá del tipo de grano o maíz, y las condiciones climáticas a las que están adaptados.

#### **2.5.4 Propiedades físicas del almidón de maíz.**

El almidón de maíz es un polvo fino de color blanco, no tiene olor ni sabor, el trabajo de investigación elaborado por (D. Rodríguez et al., 2005) describe las siguientes propiedades físicas:

**Solubilidad:** El almidón de maíz presenta la característica ser insoluble en el agua, sin embargo, con la aplicación de temperatura, este empieza a reaccionar de manera que se gelatiniza, lo cual empieza a formar un líquido espeso.

**Textura:** El almidón ayuda a formar textura y le da la estabilidad necesaria a la hora de combinarse con otros productos, en la industria alimenticia es ideal para poder modificar la textura como, el pan, salsas y sopas.

**Retrogradación:** Una importante característica física es que el almidón tiene el poder de retrogradarse, es decir que luego de haber sido expuesto a temperaturas altas, al momento de enfriarse este vuelve a formar sus cristales de amilopectina y amilosa, en otras palabras vuelve a un estado de rigidez y flexibilidad.

#### **2.5.5 Proceso de obtención del almidón de maíz**

El proceso de obtención del almidón tiene muchos, algunos dependerán tanto del equipo o maquinaria industrial especializada, los pasos más generales descritos por (Maza et al., 2021) para obtener el almidón es el siguiente:

**Limpieza:** Es necesario poder limpiar el almidón, es decir que se debe lavarlo y tratar de eliminar los granos de maíz que presenten irregularidades como podridos o presenten hoyos en su superficie, eso indica que el grano esta con patógenos.

**Maceración:** La maceración ayudara a suavizar el grano de maíz, para posteriores procesos, a su vez absorbe el agua lo que ayudara a la molienda húmeda, existen incluso la maceración con otros productos químicos, por ejemplo, colocar el grano de maíz en hidróxido de sodio para mejorar el rendimiento de extracción.

**Molienda:** En esta etapa ya se cuenta con el grano de maíz macerado o suave para poder ser molido, se puede utilizar un molino común o incluso el uso de otros artefactos como licuadoras con diferentes tiempos de revoluciones.

**Lavado:** Todo el lavado del almidón se necesita utilizar el agua destilada, ya que esta no con tiene impurezas, que podrían afectar a la calidad del almidón.

Filtración: para la filtración es necesario el uso de mallas finas para que ayuden a retener la masa húmeda del almidón, que llega a depositarse en cualquier recipiente que se esté usando.

Sedimentación: la sedimentación se explica que es el tiempo de reposo para que todo el material filtrado llegue a depositarse en el fondo del recipiente, la cantidad de almidón que se logre obtener dependerá del tiempo de sedimentación a mayores días se extraerá una mayor cantidad.

Secado: El secado se efectúa mediante estufas a temperaturas de 60 a 70 grados centígrados, donde se evidencia que la parte líquida ha sido evaporada, quedando solo el polvo blanco o almidón.

## **2.6 Biodegradabilidad**

Dentro de la normativa ASTM D5488-944, se explica que la biodegradación es la capacidad de hacer que un material se descomponga formando dióxido de carbono, agua, metano y diferentes componentes orgánicos, también que pueda degradarse por acción de los microorganismos tales como hongos y algas, también las bacterias; se considera también a un bioplástico degradable si está hecho de fuentes orgánicas o renovables, para poder sostener el equilibrio dentro del medio ambiente sin provocar afecciones o residuos (Menoscal y Rodríguez, 2017).

### **2.6.1 Tipos de biodegradabilidad.**

Existe una normativa europea que establece varios criterios para poder degradar y compostar ciertos materiales como envases o embalajes, también aplicable para residuos orgánicos que sean de base biológica, la normativa EN 13432; fue publicada en el año 2000 y tiene aplicabilidad al resto de países miembros de la Unión Europea; esta normativa también aplica para criterios de biodegradabilidad y compostabilidad, ya que son requisitos que deben cumplir ciertos materiales que vengan de origen biológico, ya que después de su vida útil, estos residuos deben ser procesados en diferentes plantas de procesamiento especializadas; la normativa indica también que se puede realizar varios métodos y pruebas de evaluación, con el objetivo de lograr cumplir los requisitos propuestos (Rodríguez, 2012).

La investigación hecha por (Charro, 2015), describe los tipos de biodegradabilidad aplicables a los biopolímeros:

#### **a. Biodegradabilidad aerobia.**

Es la capacidad de un material para descomponerse en dióxido de carbono, agua y biomasa bajo condiciones aerobias, es decir, en presencia de oxígeno. Este proceso debe ocurrir en un plazo de 6 meses.

#### **b. Biodegradabilidad anaerobia.**

Es la capacidad de un material para descomponerse en biogás (metano y dióxido de carbono), agua y biomasa bajo condiciones anaerobias, es decir, en ausencia de oxígeno. Este proceso debe ocurrir en un plazo de 6 meses (A. Rodríguez, 2012).

## **CAPÍTULO III**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales**

Instrumentos de laboratorio

- Estufa
- Balanza de precisión
- Espátulas
- Vaso de precipitación
- Mecheros
- Pipeta
- Molino
- Filtro
- Mortero
- Maquina Universal de ensayos
- Multiparamétrico

Reactivos

- Glicerina
- Ácido acético
- Agua destilada
- Alcohol
- Sorbitol
- Grenetina

### 3.2 Diseño experimental

Se seleccionaron dos variedades de maíz zhima blanco e INIAP-101, para la extracción del almidón de maíz tanto la variedad zhima blanco proveniente del cantón Paute, que indicaremos con la abreviatura (ZB) y para la variedad INIAP-101 (IN).

Para esta investigación se realizaron tres repeticiones de cada variedad de maíz (IN) y (ZB), siendo estas las muestras testigo, luego se aplicó una dosis de hidróxido de sodio al 0.1N a cada una de las variedades, transformándose en muestras con tratamiento con nombre (INT) y (ZBT), posterior a esto se analizó por separado un proceso de sedimentación a 24 horas y otra a extendida de 2 a 3 días dando un total de 24 unidades de analisis. Este análisis ayudara a determinar el rendimiento que presenta cada variedad de maíz el diseño final queda expuesto en la **Tabla 6**.

**Tabla 6** Diseño para representación de pruebas de % de rendimiento del maíz

Sedimentación	% rendimiento				
	Prueba	IN	INT	ZB	ZBT
24 h	1	R1	R1	R1	R1
	2	R2	R2	R2	R2
	3	R3	R3	R3	R3
2 a 3 días	1	R1	R1	R1	R1
	2	R2	R2	R2	R2
	3	R3	R3	R3	R3

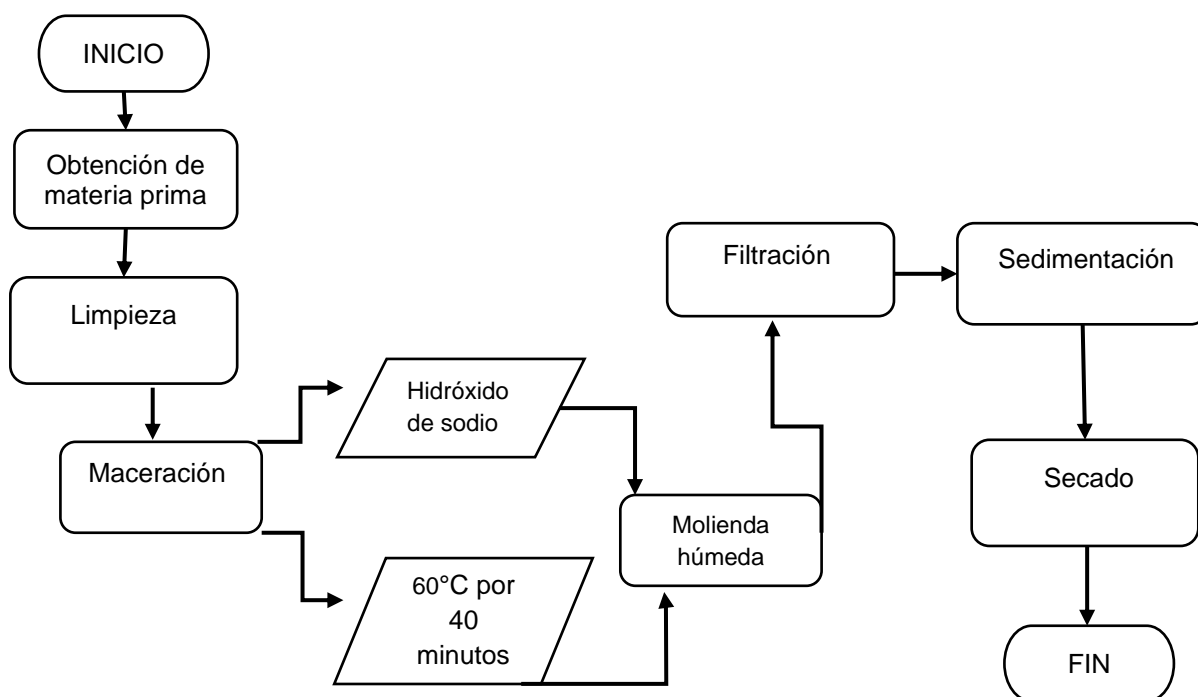
Nota: R=resultado.

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de variables como pH, humedad del almidón, se analizaron cada una de las pruebas obtenidas de la **Tabla 6**, y el análisis de degradabilidad aerobia y anaerobia fueron sometidos a un tiempo de 30 días en la colocación de cajas Petri con sustrato.

Para la obtención del bioplástico se utilizó la metodología de (Avellán et al., 2020). Donde se utilizó la adición de aditivos plastificantes como glicerina y ácido acético, posterior a esto también se añadió otros aditivos como grenetina y sorbitol para fortalecer y ser más flexible el producto de bioplástico final.

### 3.3 Diagrama de flujo obtención de almidón de maíz



**Figura 5** Diagrama de flujo para obtener almidón de maíz.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.3.1 Selección de materia prima

- Maíz zhima blanco

Para la selección de la materia prima que es el maíz, se seleccionó una muestra de 100 gr de maíz proveniente de la parroquia Dug-Dug, de los cultivos propios de su zona, ubicado específicamente en el cantón Paute, provincia del Azuay.

- Maíz INIAP-101

La obtención de esta variedad de maíz fue muy factible, debido a que es un producto para los agricultores locales del cantón Paute, fue obtenida principalmente en locales comerciales agropecuarios de la zona.

### 3.3.2 Obtención de almidón a nivel de laboratorio.

Se aplicó la metodología empleada por (Rodríguez, et al. 2015), donde señala varios procesos, como una primera etapa de maceración, seguido de esto una molienda húmeda, posterior a esto se realiza una separación del segmento fibra-germen, esto se logra mediante la filtración, siguiente se deja reposar para que sedimente por completo el almidón del gluten. Para la etapa de maceración se trabajó con 100 gr de cada variedad de maíz por separada con y sin tratamiento respectivamente.

#### **c. Limpieza.**

Previo a realizar todo el proceso de obtención del almidón se debe limpiar de posibles impurezas o residuos que puedan tener las variedades de maíz para la variedad (ZB), se lavó con agua pura, por otro lado, la variedad (IN), al ser un grano experimental y modificado para zonas frías, esta venía recubierta de una capa verde, esta superficie estaba hecha para proteger al grano de cualquier alteración externa, como posibles infestaciones de polilla, etc. Por lo tanto, esta capa fue removida con alcohol ver en la **Figura 6**, ya que el agua no funcionó como removedor.



**Figura 6** Limpieza del grano de maíz variedad INIAP-101

#### **d. Maceración.**

En el caso de maceración sin tratamiento se seleccionaron 100 gr de la variedad (ZB & IN), dejando reposar en una cantidad de 300 ml de agua destilada, seguido de esto se calentó en una estufa Memmert-UN110 **Figura 7** a 60°C por 40 minutos **Figura 8**.



**Figura 7** Estufa Memmert-UN110



**Figura 8** Maceración en estufa, sin tratamiento de hidróxido de sodio

***e. Maceración con hidróxido de sodio.***

La maceración es un proceso en el que consiste pasar de un estado sólido a líquido, para esto se colocó en remojo unos 500 ml de hidróxido de sodio al 0.1 % por 24 horas ver la **Figura 9**, esto con el fin de que el grano absorba gradualmente la mezcla de agua e hidróxido de sodio (NaOH), esta transformación hace que el grano tenga una textura más suave y harinosa, facilitando la absorción de agua (Tovar Benítez, 2008). Con la aplicación de este proceso se obtendría mayor rendimiento de almidón.



**Figura 9** Maceración con hidróxido de sodio al 0.1 %

**f. Molienda húmeda**

Los granos de maíz después de que han pasado por el proceso de maceración tuvieron que ser triturados o molidos, esto se logró mediante el uso de un molino manual de marca “CORONA” **Figura 10**, para alcanzar un polvo fino que luego pasará a ser filtrado.



**Figura 10** Molienda húmeda mediante uso de molino manual

### **g. Filtración**

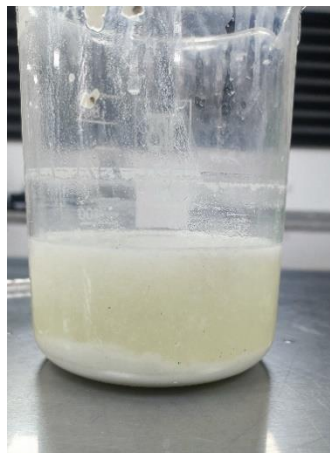
La filtración es muy importante, debido a que se debe tener en consideración el tamaño del filtro por el cual van a ser filtradas y separadas el segmento fibra-germen, una malla muy ancha no garantiza el proceso, por lo cual se optó por una malla de uso tradicional **Figura 11**, la cual presento buenos resultados en cuanto filtración



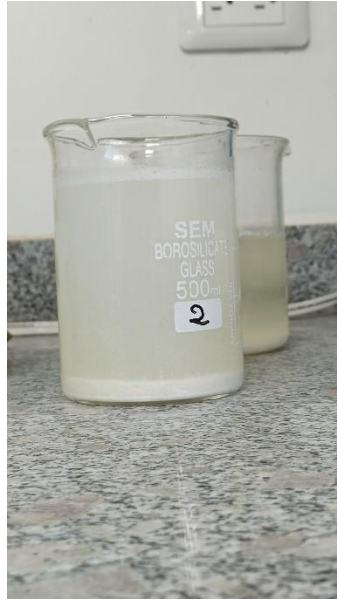
**Figura 11:** Filtración mediante malla de tela

### **h. Sedimentación.**

En la sedimentación se siguió el mismo intervalo de duración (Avellán et al., 2020), donde se estableció un tiempo de sedimentación de 24 horas ver **Figura 12**, y también una sedimentación extendida de 2 a 3 días **Figura 13**, para determinar si existe variaciones en los resultados con la obtención de almidón.



**Figura 12** Sedimentación del almidón en 24 horas



**Figura 13** Sedimentación extendida del almidón de 2 a 3 días

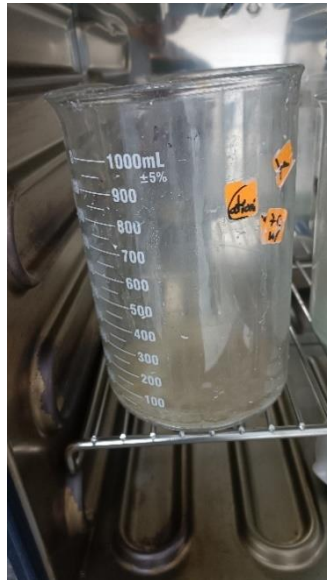
Después de este proceso, cuando ya ha sedimentado por completo se procedió a quitar la parte líquida, con ayuda de una pipeta, quedando solamente la parte más sólida que es el almidón ver en la **Figura 14**.



**Figura 14** Separación de la parte líquida de la sólida

**i. Secado.**

Se procede a colocar las muestras para su secado y eliminar por completo la humedad, con la misma metodología de (Avellán, et al. 2020), se secó en una estufa a 50°C por 24 horas ver **Figura 15**, existió también mucha variación en el tiempo de secado, ya que algunas muestras no secaban por completo en el tiempo establecido, incluso se debió alargar un día más para su total y completo secado.



**Figura 15** Secado del almidón en una estufa por 24 horas a 50 °C

**j. Almidón de maíz obtenido.**

Finalmente, luego del secado se procede a colocar las muestras en un mortero para tritararlo, en fracciones más pequeñas ver **Figura 16**, y así obtener el polvo fino, esto servirá como materia prima o base para la obtención de bioplástico, se evidencia el almidón obtenido de todas las variedades en la **Figura 17**.



**Figura 16** Trituración de almidón de maíz



**Figura 17** Almidón de maíz obtenido de cada variedad

### 3.3.3 Cálculo de rendimiento del almidón.

El almidón obtenido se pesó en una balanza de precisión marca “MINCINO” modelo “JA2103N”, ver **Figura 18**.



**Figura 18** Pesaje de almidón obtenido

Para calcular el rendimiento se usó la fórmula planteada por (García A et al., 2013), con la cual podemos establecer el porcentaje de almidón ganado en cada repetición, se empleó la siguiente fórmula:

$$\%R = \frac{(W_a)}{W_{rf} \times 0.3} \times 100 \quad (1)$$

Siendo  $W_a$ = cantidad de almidón obtenido

$W_{rf}$ = cantidad de maíz inicial

**Ecuación 1** Fórmula para calcular el porcentaje de rendimiento del almidón

Los resultados y análisis de esta prueba se muestran en la (Tabla 7).

### 3.3.4 pH del almidón obtenido

Para poder determinar el pH se utilizó la metodología de (L. Rodríguez et al., 2015), sin embargo se necesitarían grandes cantidades de almidón para poder obtener este resultado, por lo que se tuvo que realizar conversiones en reglas de tres, es decir trabajar con la cantidad experimental que se obtuvo inicialmente. Este dato se obtiene mediante el uso de un pH metro. Se tenía a disposición un multiparamétrico HANNA modelo HI 991300, donde se colocó una sonda para medir el pH, ver **Figura 19**.



**Figura 19** Determinación de pH del almidón obtenido

### 3.3.5 Humedad del almidón

El contenido de humedad en el almidón obtenido nos dirá la cantidad de agua presente, por tanto, se determinará si se trabajó con una masa de base seca o húmeda.

Para este procedimiento se utilizó la metodología empleada por (García & Fernández, 2012), donde se trabaja con la diferencia de pesos tanto inicial como final. Sin embargo en esta investigación se trabajó con menos horas en la estufa, debido a la disponibilidad de tiempo en el laboratorio, se tiene que repetir el procedimiento hasta que se vea un peso constante ver **Figura 20**. Se colocó las muestras en un desecador para eliminar el exceso de humedad.



**Figura 20** Muestras colocadas en el desecador, para determinar la humedad

Al final aplicamos la siguiente formula:

$$\%Humedad = \frac{(Peso\ inicial\ con\ capsula - Peso\ final\ secado\ con\ capsula)}{Peso\ de\ la\ muestra\ húmeda} \times 100 \quad (2)$$

**Ecuación 2** Fórmula para obtener el % de humedad en el almidón

### 3.4 Producción de bioplástico

La cantidad de aditivos plastificantes dependerá mucho de la cuantificación de almidón o rendimiento que se obtuvo anteriormente, por ello se basó en los datos obtenidos de la investigación experimental de (Avellán et al., 2020), donde se aplicó una regla de tres, esto para poder aplicar una mezcla de almidón, agua destilada, glicerina, ácido acético al 3% v/v, ver la **Figura 21**.



**Figura 21** Mezcla de almidón, agua destilada y aditivos plastificantes como glicerina y ácido acético

Sin embargo, esta mixtura no mostraba un buen resultado ya que el bioplástico obtenido era muy débil y quebradizo ver **Figura 22**, por lo que se investigó otro tipo de aditivos plastificantes que podrían ser usados en la mezcla. En la investigación de (Godínez et al., 2016), realiza experimentaciones con varios aditivos, los cuales fueron seleccionados el sorbitol y grenetina industrial ver **Figura 23**, se escogieron ya que fueron los únicos que se tenían en disponibilidad de venta comercial.



**Figura 22** Bioplástico obtenido muy quebradizo

A continuación, se muestra la **tabla 7** de referencia:

**Tabla 7** Cantidad de aditivos plastificantes tomados como indicación para dosificar

Aditivos plastificantes	Cantidad	Unidad
<b>(Avellán et al., 2020)</b>		
Almidón	5,72	gr
Agua destilada	17	ml
Glicerina	1,7	ml
Ácido acético	3	ml
<b>(Godínez et al., 2016)</b>		
Sorbitol	1,5	gr
Grenetina	2,25	gr

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 23** Aditivos plastificantes: sorbitol y grenetina industrial

### 3.4.1 Método casting.

El método casting, se utilizó para poder verter en placas sea de metal o de vidrio ver la **Figura 24**, y se formó el film o película del polímero que se aplicó, para que el polímero salga de la mejor

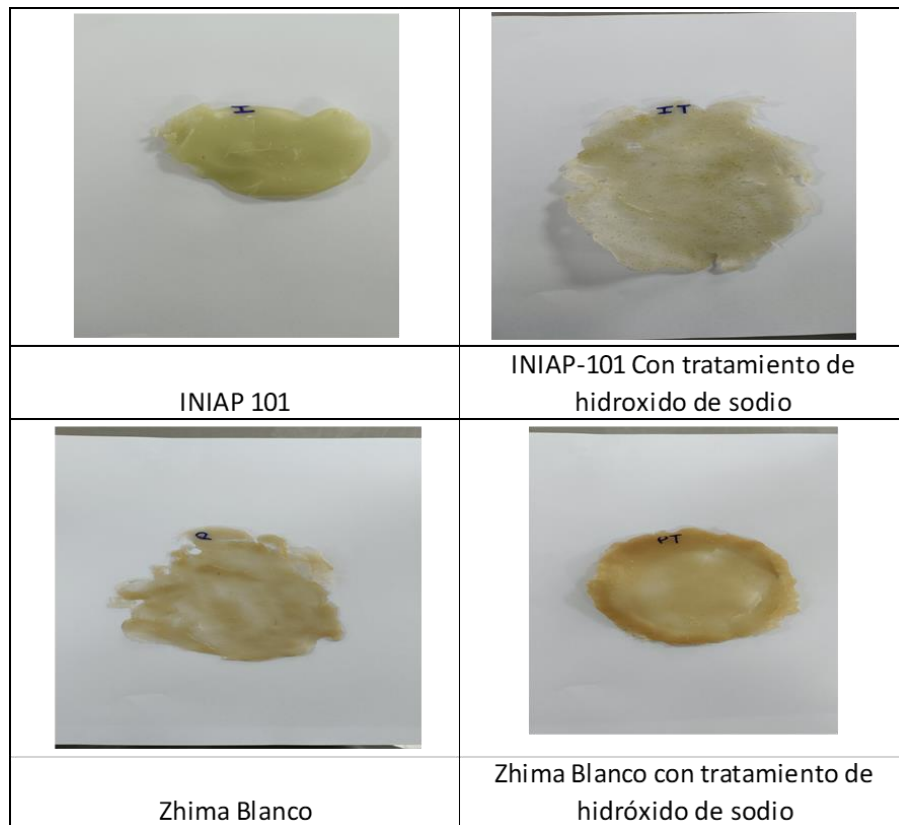


**Figura 24** Aplicación del método casting en placa de vidrio

manera, se colocó la masa o mezcla que se hizo previamente a una alta temperatura o en forma de gelatina, que luego se dejó reposar o secar en temperatura ambiente, en un lugar fresco y seco evitando los rayos del sol.

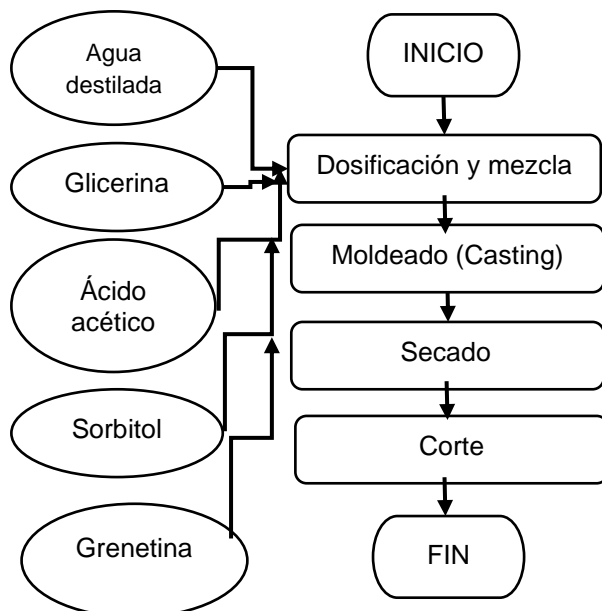
### 3.4.2 Bioplástico o film degradable.

Finalmente, luego del tiempo de secado en temperatura ambiente, se procedió a retirar el bioplástico o film degradable de la placa de vidrio con mucho cuidado evitando que se rompa, el bioplástico obtenido de cada variedad se evidencia en la **Figura 25**.



**Figura 25** Bioplástico final obtenido de cada variedad de maíz y almidón

### 3.4.3 Diagrama de flujo para obtención de biopolímero final



**Figura 26** Diagrama de flujo del proceso de obtención de bioplástico.

#### 3.4.4 Grosor.

El grosor se midió siempre con una regla, cuidando de que no sobrepase 1 mm, ya que la normativa (ASTM D882, 2021), señala que los plásticos finos deben ser  $\leq 1$  mm. Por lo tanto, siempre se mantuvo a esa medida inferior, ya que el bioplástico fue colocado sobre placas de vidrio para que pueda ser extendida en una película fina ver **Figura 27**.



**Figura 27** Medición de grosor del bioplástico

#### 3.4.5 Prueba de resistencia y elongación.

La prueba de resistencia se siguió el manual de (ASTM D882, 2021), en donde indica la máquina o equipo a utilizar, para el ensayo se utilizó una máquina universal de ensayos marca "ZHIMATSU", modelo "AGS-X", ver **Figura 28**, sin embargo es necesario realizar muestras muy bien elaboradas para la prueba de tracción o resistencia. La máquina universal de ensayos fue puesta a disposición en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) de Cuenca, la evidencia y pruebas de los informes generados por la entidad educativa están en el **Anexo 3**.

Para este ensayo se utilizó un transductor de fuerza con una capacidad de 20 kN  
ver **Figura 29**.



**Figura 29** Maquina universal de ensayos



**Figura 28** Transductor de fuerza, capacidad 20 kN

### ***Diseño de probetas.***

Para el diseño de probetas se utilizó la misma normativa de (ASTM D882, 2021), ver **Figura 30** en donde indica las medidas o referencias para que sean moldeadas o cortadas y listas para llevar a prueba. Para nuestro estudio caso se realizaron probetas de 12 cm de largo por 2 cm de ancho (centro de la probeta), se realizaron para todas las variedades de maíz ver **Figura 31**.

<b>Requisitos de la muestra de prueba ASTM D882</b>	
<b>Uniformidad</b>	Los especímenes de prueba deben consistir en tiras de ancho y espesor uniforme por lo menos 50 mm (2 pulgadas) más largas que la separación de agarre utilizada.
<b>Ancho</b>	El ancho nominal de los especímenes no debe ser inferior a 5,0 mm (0,20 in) ni superior a 25,4 mm (1,0 in).
<b>Relación ancho-espesor</b>	Se utilizará una relación ancho-espesor de al menos ocho. Los especímenes angostos magnifican los efectos de las deformaciones o fallas en los bordes, o ambos.
<b>Especímenes no dañados</b>	Se debe tener cuidado al cortar las muestras para evitar muescas y rasgaduras que causen fallas prematuras. Los bordes deben ser paralelos dentro del 5 % del ancho sobre la longitud del espécimen entre las mordazas.
<b>Espesor consistente</b>	Los especímenes de ensayo deben tener un espesor uniforme dentro del 10 % del espesor sobre la longitud del espécimen entre las mordazas para espesores de especímenes de 0,25 mm (0,010 in) o menos, y dentro del 5 % en el caso de especímenes mayores de 0,25 mm ( 0,010 pulgadas) de espesor.
<b>Material anisotrópico</b>	Para materiales anisotrópicos, se deben preparar dos conjuntos de especímenes de prueba con sus ejes longitudinales respectivamente paralelos y normales a la dirección sospechosa de anisotropía.
<b>Módulo de tracción</b>	Para determinar el módulo de elasticidad a la tracción, se considera estándar una muestra de longitud calibrada de 250 mm (10 pulgadas). Esta longitud minimiza los efectos del deslizamiento del agarre en los resultados de la prueba. Cuando esta longitud no es factible, se pueden usar secciones de prueba tan cortas como 100 mm (4 pulgadas) si los resultados de la prueba no se ven afectados de manera apreciable.

**Figura 30** Requisitos para realizar las probetas



**Figura 31** Probetas para pruebas de fuerza y elongación

#### a. Prueba de tracción.

La prueba de tracción, nos indica tanto su fuerza aplicada a un cuerpo en un solo eje y con este también podemos determinar su alargamiento o elongación. La máquina universal de ensayos calcula esto mediante la ley de Hooke y también mediante la fórmula general de elongación, los resultados o informe de la prueba están en la (Tabla 16).

$$\%Elongación = \frac{(L_f - L_o)}{L_o} \times 100\% \quad (3)$$

**Ecuación 3** Fórmula para calcular el porcentaje de elongación de un material

### 3.5 Prueba de Biodegradabilidad

Cada una de las muestras fueron colocadas en sustrato en cajas Petri, para que puedan degradar simulando las condiciones similares del suelo.

Para poder obtener el porcentaje de pérdida de peso se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100\% \quad (4)$$

**Ecuación 4** Fórmula para calcular el porcentaje de pérdida de peso, en prueba de biodegradabilidad.

#### 3.5.1 Degradabilidad aerobia

Para el desarrollo de la parte experimental de degradabilidad se tomó en cuenta la Norma EN-13432 sobre los requisitos para biodegradabilidad y compostabilidad de materiales plásticos. Se estableció un tiempo límite de 30 días para cada condición aerobia y anaerobia. Fueron colocadas cada una de las muestras en sustrato.

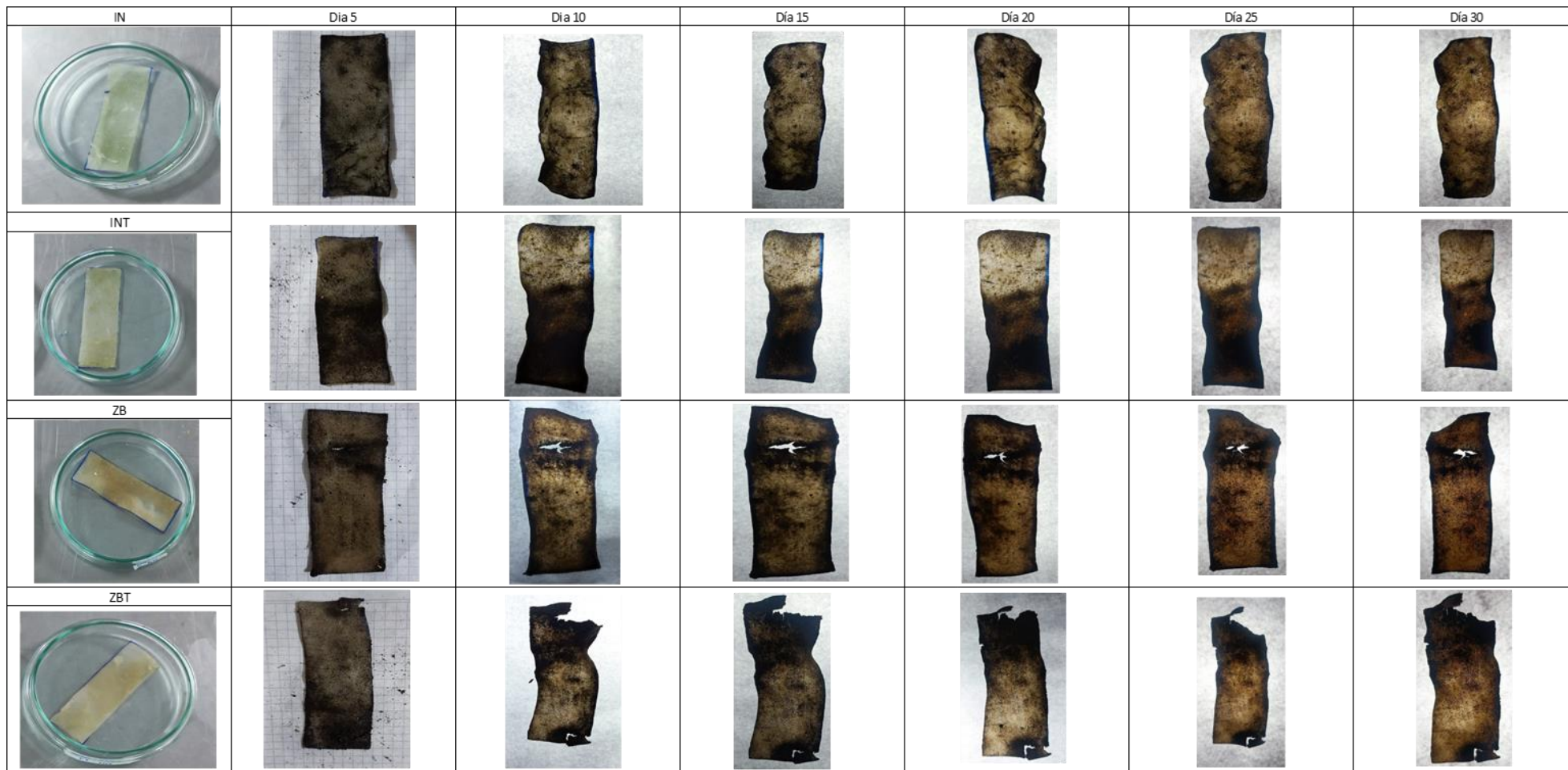
La degradabilidad aerobia nos quiere decir que debe estar sujeto a presencia de oxígeno, este método fue tomado de (Guamán, 2019), donde se pesan diariamente los materiales de bioplástico en una balanza de precisión, ver **Figura 32**. También la evidencia fotográfica de la degradación en la **Figura 34**.



**Figura 32** Pesaje de muestras diariamente, para degradabilidad aerobia



**Ilustración 33** Colocación de muestras en sustrato y cajas Petri



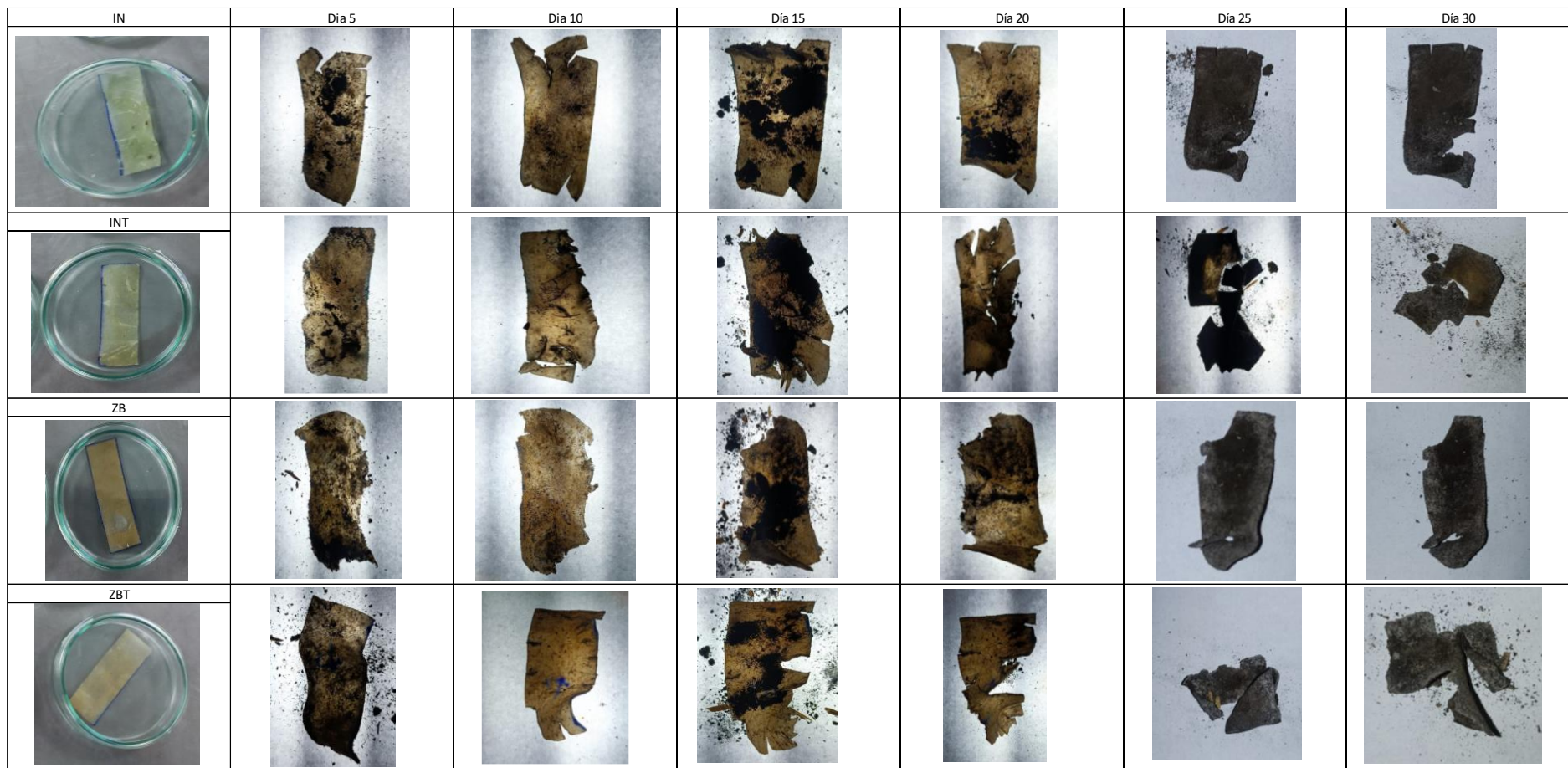
**Figura 34** Degradación aerobia, fotografiado cada 5 días por un mes

### 3.5.2 Degradabilidad anaerobia

Tomado de la misma metodología de (Guamán, 2019), para el mismo tiempo de degradación de 30 días, este método es más tardío ya que se debe pesar cada día las muestras pero devolviéndolas dentro de una bolsa hermética ver **Figura 35**, tratando de sacar la mayor cantidad de aire de su interior. Esto con el fin de lograr la condición anaerobia, las muestras también fueron colocadas en sustrato, los resultados de este ensayo se muestran en la (Tabla 19). También la evidencia fotográfica de la degradación anaerobia en la **Figura 36**.



**Figura 35** Bolsas herméticas para la prueba de degradación anaerobia



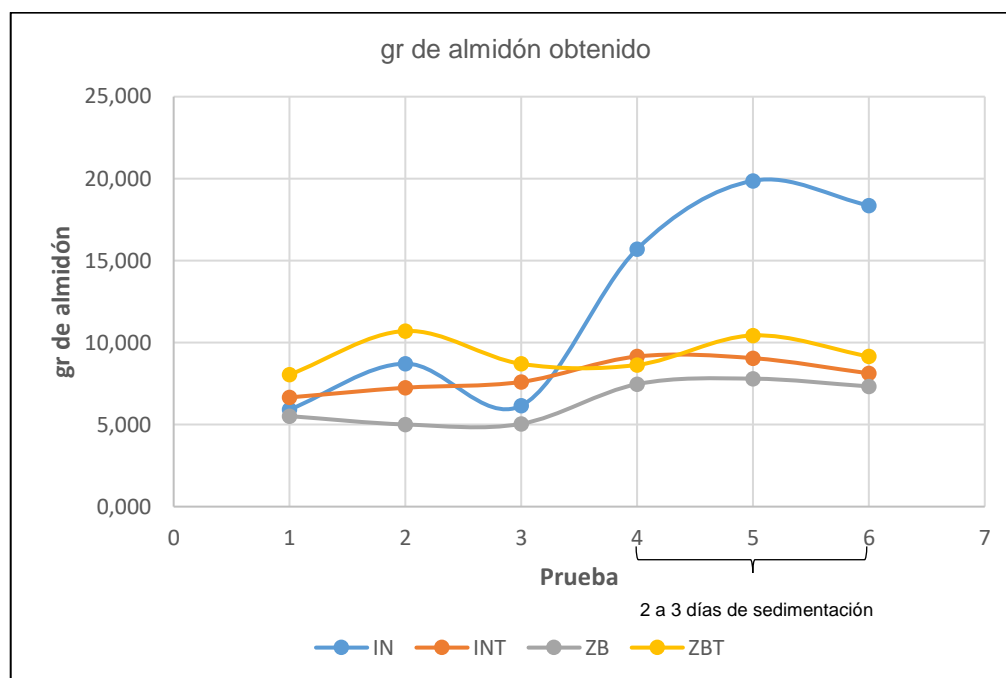
**Figura 36** Degradación anaerobia, fotografiado cada 5 días por un mes

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados de obtención de almidón de maíz y su rendimiento

A continuación, se muestra el gráfico **Figura 30** la obtención de gramos de almidón en 6 pruebas, las primeras tres fueron sometidas a una sedimentación de 24 horas y las restantes a una sedimentación extendida de 2 a 3 días. Cada variedad fue analizada por separada y con el tratamiento de hidróxido de sodio a cada muestra.



**Figura 37** gr de almidón obtenidos por cada repetición

Se observa en el gráfico de la **Figura 37** que sometido a un mayor tiempo de sedimentación (2 a 3 días), existe una mayor obtención de almidón de maíz, sin embargo, no todas las variedades en esta investigación demuestran esa optimización. Siendo la variedad (IN), la que mejor presenta resultados, con una cantidad de gr de almidón máxima de 18.7 gr y un % de rendimiento de 66 %. Por otra parte, si se tomase en cuenta solamente un tiempo de sedimentación de 24h, la variedad que mejor resultados presenta es (IN), que se llega a obtener 8 gr de almidón y un casi 30 % de rendimiento y la variedad (ZBT), que alcanza los 8 gr de almidón y un 35% de rendimiento.

Los resultados del porcentaje de rendimiento del almidón se muestran la (Tabla 8), obtenido de cada variedad por separado y también con su respectivo tratamiento de hidróxido de sodio, se separó por filas la sedimentación de 24 horas y la extendida de 2 a 3 días.

**Tabla 8** Resultados del porcentaje de rendimiento de almidón de todas las variedades de maíz.

% rendimiento					
Sedimentación	Prueba	IN	INT	ZB	ZBT
24 h	1	<b>0.20</b>	<b>0.22</b>	<b>0.18</b>	<b>0.27</b>
	2	<b>0.29</b>	<b>0.24</b>	<b>0.17</b>	<b>0.36</b>
	3	<b>0.21</b>	<b>0.25</b>	<b>0.17</b>	<b>0.29</b>
	4	<b>0.52</b>	<b>0.31</b>	<b>0.25</b>	<b>0.29</b>
2 a 3 días	5	<b>0.66</b>	<b>0.30</b>	<b>0.26</b>	<b>0.35</b>
	6	<b>0.61</b>	<b>0.27</b>	<b>0.24</b>	<b>0.31</b>

En el análisis de sedimentación de 24 horas las variedades (IN) y (INT) obtuvieron un promedio de 0.23%, la muestra (ZB) que obtuvo un promedio de 0.17% y la variedad (ZBT) con un total promedio de 0.30%.

Se evidencia en la **Tabla 8** que la sedimentación extendida de 2 a 3 días refleja un mayor rendimiento del almidón, en todas las variedades con y sin tratamiento de hidróxido de sodio, demostrando una optimización. La variedad (IN), supera a todas las demás muestras experimentadas con un promedio de 0.59%, la variedad (INT) con un promedio de 0.29%, (ZB) con 0.25%, y la variedad (ZBT) con un promedio de 0.31%.

#### **4.2 Resultados análisis ANOVA 24 h de sedimentación.**

Se realizó una prueba ANOVA **Tabla 9**, esto con el fin de determinar si existe una diferencia significativa en el conjunto de datos de la sedimentación puesta a 24 h. Seguido de esto la prueba Tukey nos ayudó a identificar entre que grupo de datos existe una discrepancia y así establecer conclusiones.

**Tabla 9** Análisis ANOVA, resultados de rendimiento del almidón en sedimentación de 24 h.

ANOVA: Single Factor								
DESCRIPTION	Alpha				0,05			
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
IN	3	0.69	0.23	0.00267787	0.00535574	0.02072328	0.18330092	0.27887686
INT	3	0.72	0.24	0.00025318	0.00050635	0.02072328	0.19126759	0.28684352
ZB	3	0.52	0.17	8.9211E-05	0.00017842	0.02072328	0.12533426	0.22091019
ZBT	3	0.92	0.31	0.0021332	0.00426639	0.02072328	0.25740092	0.35297686

ANOVA								
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Between Groups	0.02630763	3	0.00876921	6.80647504	<b>0.01359593</b>	0.7185024	1.50626193	0.59210624
Within Groups	0.0103069	8	0.00128836					
Total	0.03661453	11	0.00332859					

TUKEY HSD/KRAMER					
			alpha	0,05	
<i>group</i>	<i>mean</i>	<i>n</i>	<i>ss</i>	<i>df</i>	<i>q-crit</i>
IN	0.23	3	0.00535574		
INT	0.24	3	0.00050635		
ZB	0.17	3	0.00017842		
ZBT	0.31	3	0.00426639		
		12	0.0103069	8	4.529

---

Q TEST

---

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
IN	INT	0.00796667	0.02072328	0.3844308	-0.08588906	0.1018224	0.99242437	0.09385573	0.22195122
IN	ZB	0.05796667	0.02072328	2.79717639	-0.03588906	0.1518224	0.27168518	0.09385573	1.61495054
IN	ZBT	0.0741	0.02072328	3.57568897	-0.01975573	0.16795573	0.12920332	0.09385573	2.06442499
INT	ZB	0.06593333	0.02072328	3.18160719	-0.0279224	0.15978906	0.18961771	0.09385573	1.83690177
INT	ZBT	0.06613333	0.02072328	3.19125817	-0.0277224	0.15998906	0.18787231	0.09385573	1.84247377
ZB	ZBT	0.13206667	0.02072328	6.37286537	0.03821094	0.2259224	0.00857273	0.09385573	3.67937554

---

El análisis ANOVA en la sedimentación de 24 h **Tabla 9**, dice que si existe una diferencia significativa ya que el *P value* es menor en cuanto al valor de alfa asignado de 0.05, en la prueba de Tukey existe una diferencia significativa entre las variedades (ZB) Y (ZBT), pudiendo afirmar que el tratamiento de hidróxido de sodio si hace que rinda más la extracción de maíz únicamente en la variedad (ZB)

#### **4.3 Resultados análisis ANOVA 2 a 3 días de sedimentación**

Se realizo una prueba ANOVA **Tabla 10**, esto con el fin de determinar si existe una diferencia significativa en el conjunto de datos de la sedimentación extendida. Seguido de esto la prueba Tukey nos ayudó a identificar entre que grupo de datos existe una discrepancia y así establecer conclusiones.

**Tabla 10** Análisis ANOVA, resultados de rendimiento del almidón en sedimentación de 2 a 3 días.

ANOVA: Single Factor								
DESCRIPTION	Alpha				<b>0,05</b>			
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
IN	3	1,80	0,60	0,00493166	0,00986333	0,02292746	0,54652919	0,65227081
INT	3	0,88	0,29	0,00035714	0,00071429	0,02292746	0,23976253	0,34550414
ZB	3	0,75	0,25	6,574E-05	0,00013148	0,02292746	0,19825142	0,30399303
ZBT	3	0,94	0,31	0,00095347	0,00190694	0,02292746	0,26088475	0,36662636

ANOVA									
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>	
Between Groups	0,22731615	3	0,07577205	48,0480837	<b>1,8412E-05</b>	0,94741832	4,00200299	0,9216425	
Within Groups	0,01261604	8	0,001577						
Total	0,23993219	11	0,02181202						

TUKEY HSD/KRAMER					
alpha			<b>0,05</b>		
<i>group</i>	<i>mean</i>	<i>n</i>	<i>ss</i>	<i>df</i>	<i>q-crit</i>
IN	0,60	3	0,00986333		
INT	0,29	3	0,00071429		
ZB	0,25	3	0,00013148		
ZBT	0,31	3	0,00190694		
		12	0,01261604	8	4,529

---

Q TEST

---

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
IN	INT	0,30676667	0,02292746	13,3798828	0,20292822	0,41060511	<b>5,9597E-05</b>	0,10383845	7,72487896
IN	ZB	0,34827778	0,02292746	15,1904244	0,24443933	0,45211622	<b>2,3205E-05</b>	0,10383845	8,77019562
IN	ZBT	0,28564444	0,02292746	12,4586196	0,181806	0,38948289	<b>0,00010046</b>	0,10383845	7,19298737
INT	ZB	0,04151111	0,02292746	1,81054157	-0,06232733	0,14534956	<b>0,59872621</b>	0,10383845	1,04531666
INT	ZBT	0,02112222	0,02292746	0,92126326	-0,08271622	0,12496067	<b>0,91214108</b>	0,10383845	0,53189159
ZB	ZBT	0,06263333	0,02292746	2,73180483	-0,04120511	0,16647178	<b>0,28822846</b>	0,10383845	1,57720825

---

En cuanto al análisis ANOVA para sedimentación de 2 a 3 días **Tabla 10**, nos dice que si existe una diferencia significativa ya que el  $P\text{ value} = 1,8412E-05$ , por lo tanto, es menor en cuanto al valor de alfa asignado de 0,05, en la prueba de Tukey nos muestra que existe una diferencia significativa respecto a la variedad (IN), que sin la necesidad de aplicar un tratamiento de hidróxido de sodio se obtiene un mayor rendimiento de almidón frente a las otras variedades (INT), (ZB) y (ZBT).

#### 4.4 Resultado de análisis de pH

Se muestran los resultados de análisis de pH obtenidos con el equipo multiparamétrico **Tabla 11**. Para esta investigación se debe hacer un énfasis en cuanto a la obtención de este almidón ya que es considerado una materia prima para la elaboración de bioplástico, mas no está destinada al consumo humano.

**Tabla 11** Resultados del análisis de pH del almidón

Resultado análisis de pH de almidón obtenido				
Prueba	IN	INT	ZB	ZBT
1	3.98	4.24	3.99	3.75
2	3.9	3.83	3.66	3.7
3	3.44	3.82	3.55	3.74
4	3.38	3.85	3.63	3.8
5	3.57	4.04	3.8	3.53
6	3.48	4.49	3.14	3.98

Se obtuvieron resultados de pH ácido que va de 3 a 4, la variedad (IN) con un pH máximo de 3.98, (INT) con pH máximo de 4.24, la variedad (ZB) con un pH máximo alcanzado de 3.99 y por último la variedad (ZBT), con un pH máximo de 3.98, estableciendo así valores de pH ácidos en todas las pruebas realizadas.

**Tabla 12** Medidas de referencia con respecto al pH obtenido

pH almidón de maíz		
Referencia	Medida de referencia	Resultado obtenido
Norma Técnica Ecuatoriana NTE	4,5 - 6,5	
INEN 1456 (Ledesma, 2021)	5,42	3-4,4
(L. Rodríguez et al., 2015)	5,74 - 6,08	

#### 4.5 Resultado de cálculo de humedad presente en el almidón.

Se obtuvieron los resultados de humedad dentro del almidón **Tabla 13**, para este método se trabajó con un secado por gravimetría, es decir sometiendo las muestras a temperaturas altas y dejar secar hasta obtener un peso constante.

**Tabla 13** Resultado de porcentaje de humedad dentro de las variedades de maíz

Prueba	% Humedad del almidón obtenido			
	IN	INT	ZB	ZBT
1	6.92	7.25	6.01	7.86
2	6.48	5.91	4.43	4.16
3	7.67	6.18	4.71	4.99
4	5.25	5.57	5.27	4.93
5	6.37	7.94	6.45	4.41
6	6.85	6.48	6.65	4.87

El contenido de humedad en la investigación va en un rango de 5.25% a 7.9%, **Tabla 13**, la variedad (IN) con un promedio de humedad del 6.59%, (INT) con un porcentaje de humedad promedio de 6.55%, la variedad (ZB) con un promedio de 5.58%, finalmente la variedad (ZBT) con un promedio de 5.20%. La humedad resulta ser baja, ya que las muestras no secaban de manera rápida como lo previsto en 24h, se necesitó incluso extenderse a 48h a veces hasta 72h de secado después del proceso de sedimentación. A esto se le debe añadir la prueba de secado para obtener el porcentaje de humedad.

Se presenta en la **Tabla 14** la comparación con otros autores y sus resultados de humedad del almidón obtenidos.

**Tabla 14** Resultados de referencia % de humedad del almidón obtenido.

REFERENCIA	% humedad almidón	
	MEDIDA DE REFERENCIA	RESULTADO OBTENIDO
(Beltrán, 2006)	9,5	
(Ledesma, 2021)	9,5 – 14,16	6 -7,9
(Bianco et al., 2015)	10,99	

#### 4.6 Resultado de análisis fuerza o resistencia y elongación

Para poder obtener los datos de fuerza y elongación que puede resistir el biopolímero obtenido, fue necesario llevar las muestras a un equipo de medición

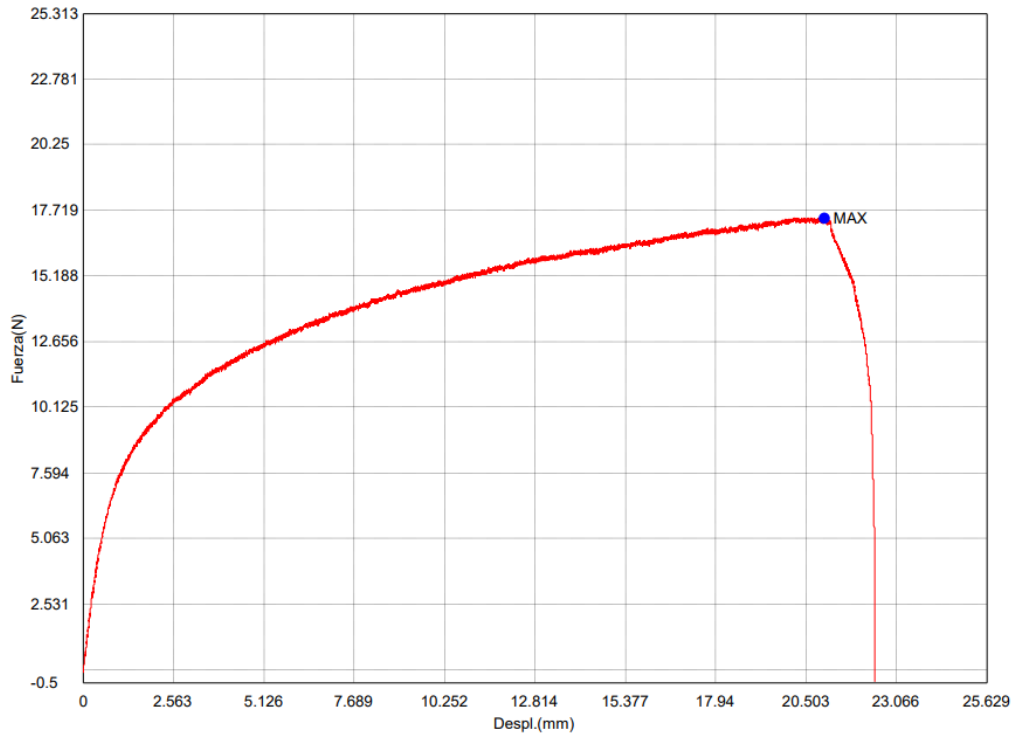
especializado llamado “maquina universal de ensayos”, en la **Tabla 15** se evidencia la capacidad de fuerza y elongación que resiste cada variedad.

**Tabla 15** Máxima fuerza y desplazamiento de las dos variedades de maíz con y sin tratamiento de hidróxido de sodio.

Variedad	Max. Fuerza	Max. _Desplazamiento
IN	Calc. At	Calc. At
	Entire	Entire
	Areas	Areas
	N	mm
	<b>17,4236</b>	<b>21,0308</b>
INT	Calc. At	Calc. At
	Entire	Entire
	Areas	Areas
	N	mm
	<b>6,63439</b>	<b>35,3074</b>
ZB	Calc. At	Calc. At
	Entire	Entire
	Areas	Areas
	N	mm
	<b>10,0108</b>	<b>17,0807</b>
ZBT	Calc. At	Calc. At
	Entire	Entire
	Areas	Areas
	N	mm
	<b>4,36783</b>	<b>17,5382</b>

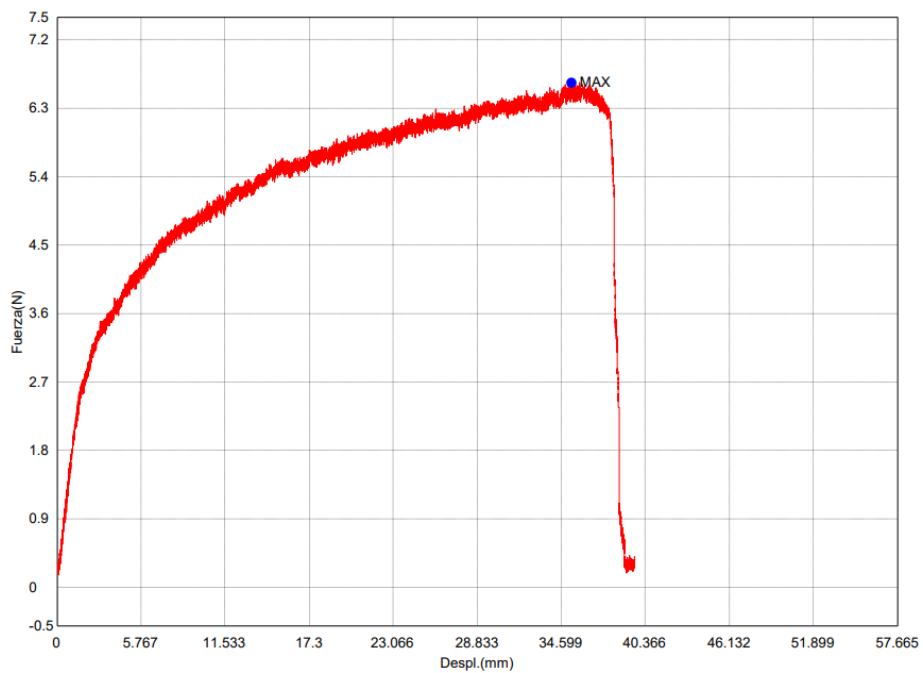
Los resultados obtenidos de la maquina universal de ensayos, nos muestra la resistencia y la elongación de los biopolímeros obtenidos, se realizó únicamente un ensayo por cada variedad, debido a los costos que este emitía, la variedad (IN), presenta una mayor fuerza o resistencia, y una mejoría en la elongación con tratamiento de hidróxido de sodio a la variedad (INT).

A continuación, se presenta el grafico **Figura 38** obtenido de la maquina universal de ensayos de la variedad (IN), que alcanza una máxima fuerza de 17N y un desplazamiento de 21.03 mm.



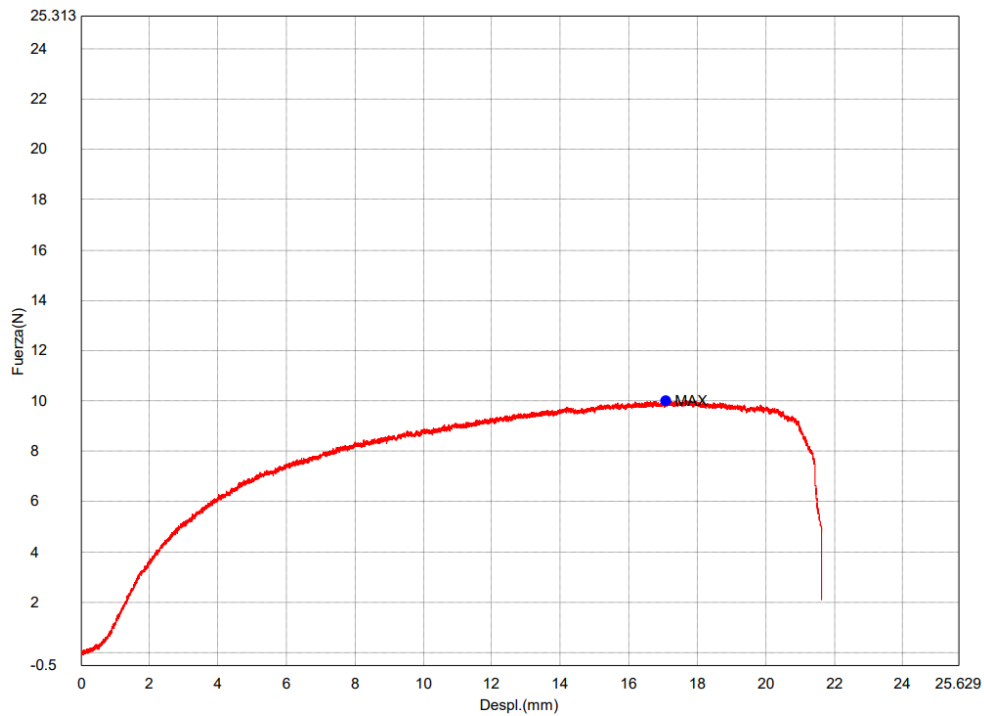
**Figura 38** Fuerza y desplazamiento variedad (IN).

A continuación, se presenta el grafico **Figura 39** obtenido de la maquina universal de ensayos de la variedad (INT), que alcanza una máxima fuerza de 6.63N y un desplazamiento de 35.30 mm.



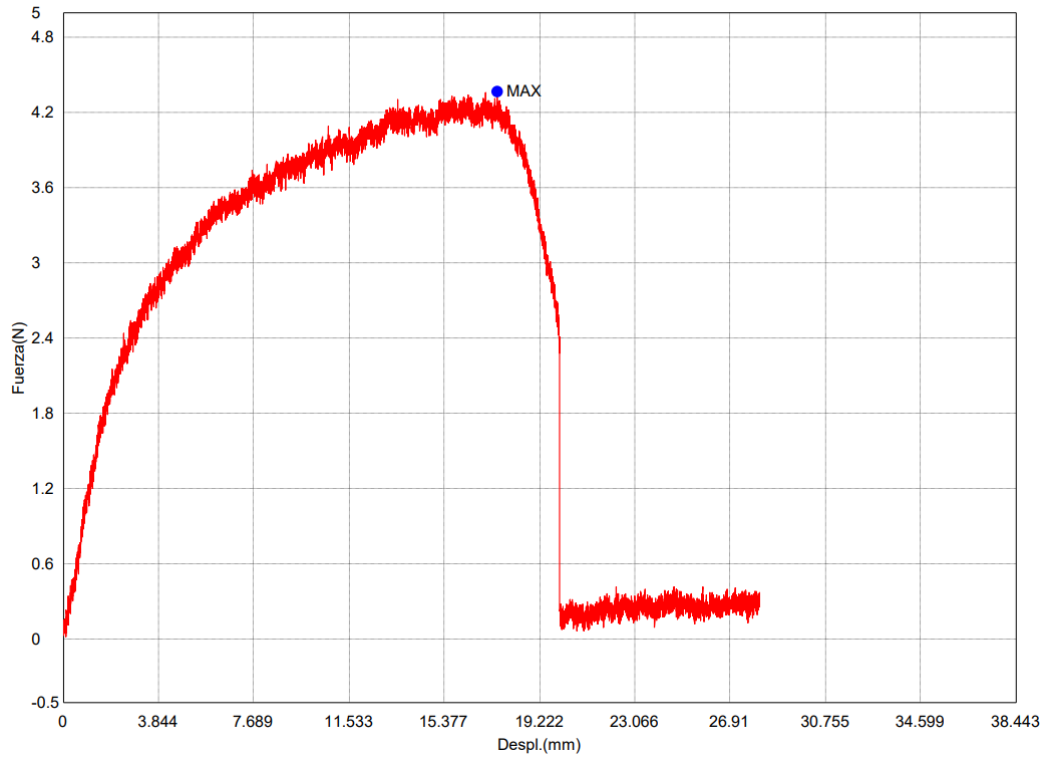
**Figura 39** Fuerza y desplazamiento variedad (INT).

A continuación, se presenta el gráfico **Figura 40** obtenido de la máquina universal de ensayos de la variedad (ZB), que alcanza una máxima fuerza de 10.01 N y un desplazamiento de 17.08 mm.



**Figura 40** Fuerza y desplazamiento variedad (ZB).

A continuación, se presenta el gráfico **Figura 41** obtenido de la máquina universal de ensayos de la variedad (IN), que alcanza una máxima fuerza de 4.36 N y un desplazamiento de 17.53 mm.



**Figura 41** Fuerza y desplazamiento variedad (ZBT).

El análisis de fuerza o resistencia fue realizado con una maquina universal de ensayos, en donde obtenemos resultados interesantes, se evidencia que la variedad que presenta una mayor resistencia es la variedad (IN), alcanzando una fuerza de 17.4 N, y una máxima tensión de 1.27 N/mm<sup>2</sup> por otro lado la variedad con menos resistencia es (ZBT), que alcanzo 4.36 N y una máxima tensión de 0.36 N/mm<sup>2</sup>.

Se analizó la máxima resistencia de otros autores, los cuales también usaron otros tipos de materia prima, a continuación, se muestra en la **Tabla 16**.

**Tabla 16** Referencia de máximo esfuerzo de bioplásticos en unidad de Newtons y con diferente materia prima

Máxima resistencia o fuerza (N)						
Materia prima	Referencia	Medida de referencia	Resultado obtenido (IN)	Resultado obtenido (INT)	Resultado obtenido (ZB)	Resultado obtenido (ZBT)
Suero lácteo	(Escobar et al., 2009)	13,73 N				
Almidón de yuca	(Mali, 2002)	9,84				
	(Vicentini, 2003)	4 N	<b>17,42 N</b>	<b>6,63 N</b>	<b>10,01 N</b>	<b>4,36 N</b>
Rastrojo de maíz	(Angamarca & Delgado, 2022)	203 N				

El resultado obtenido fue comparado con la de otros autores que usaron otro tipo de material o base biológica, el almidón de yuca por (Mali, 2002) se asemeja mucho a los resultados de resistencia que presenta las variedades (INT) y (ZB), que son los resultados mas bajos obtenidos en este estudio. Por otra parte, la investigación de (Angamarca & Delgado, 2022), es la mas fuerte que se ha encontrado en la investigación debido a que utiliza el rastrojo de maiz, es decir todo el residuo de la planta desde la raíz hasta las hojas, lo cual crea una base mas firme para el biopolimero.

Se realizo un calculo para poder obtener el porcentaje de elongación los resultados se detallan en la **Tabla 17**. Se muestra también los datos obtenidos por otros autores:

**Tabla 17** Referencias de máximo porcentaje de elongación de bioplásticos y con diferente materia prima

máximo desplazamiento o elongación (%)						
Materia prima	Referencia	Medida de referencia	Resultado obtenido (IN)	Resultado obtenido (INT)	Resultado obtenido (ZB)	Resultado obtenido (ZBT)
Almidón de maíz	(Arévalo, 1996)	84,50%				
	(Ledesma, 2021)	33,78%	<b>17,5 %</b>	<b>29,41 %</b>	<b>14,16 %</b>	<b>14,58 %</b>
Almidón de quinua	(Ledesma, 2021)	29,18%				

---

Suero lácteo	(Escobar et al., 2009)	18%
--------------	------------------------	-----

---

La variedad (INT), demuestra tener mayor porcentaje de elongación o desplazamiento frente al autor (Ledesma, 2021), quien uso una base biológica de almidón de quinua. Por otro lado la que menor desplazamiento presenta es la variedad (ZB), que es menor incluso al resultado de (Escobar et al., 2009), quien obtiene un 18% de elongación, la variedad (INT) en esta investigación tiene menor elongación en cuanto comparamos la misma materia prima de almidón de maíz, con la de los autores (Arevalo, 1996) y (Ledesma, 2021) pero es mejor en cuanto el almidón de quinua o el suero lácteo.

#### 4.7 Resultados de degradación aerobia

##### Degradabilidad aerobia

En la **Tabla 18** se muestra los datos obtenidos en la medición diaria por un mes completo. Los datos servirán para poder calcular el porcentaje de pérdida de peso.

**Tabla 18** Resultado de pérdida de masa (gr) de almidón en 30 días, degradación aerobia

Día	IN	INT	ZB	ZBT
1	4.535	3,6287	4,989	3,1751
2	3.17	2,9	3,92	2,98
3	3.15	2,59	3,9	2,5
4	3.1	2,52	3,72	2,25
5	3.09	2,1	3,68	2,21
6	3.02	2,05	3,42	1,97
7	3.01	1,99	3,34	1,94
8	2.5	1,92	3,16	1,83
9	2.3	1,92	3,04	1,57
10	2.27	1,91	3,01	1,39
11	2.27	1,81	2,98	1,36
12	2.27	1,81	2,72	1,36
13	2.27	1,81	2,72	1,36
14	2.27	1,81	2,26	1,36
15	2.27	1,81	2,26	1,36
16	2.27	1,81	2,26	1,36
17	2.27	1,81	2,26	1,36
18	2.27	1,81	2,26	1,36
19	2.27	1,81	2,26	1,36
20	2.27	1,81	2,26	1,36
21	2.27	1,81	2,26	1,36
22	2.27	1,81	2,26	1,36
23	2.27	1,81	2,26	1,36
24	2.27	1,81	2,26	1,36
25	2.27	1,81	2,26	1,36
26	2.27	1,81	2,26	1,36
27	2.27	1,81	2,26	1,36
28	2.27	1,81	2,26	1,36
29	2.27	1,81	2,26	1,36
30	2.27	1,81	2,26	1,36

Los datos obtenidos evidencian una disminución de la masa en comparación desde el día 1, sin embargo, se muestra un peso constante en todas las variedades, aproximadamente entre el día 10 y el día 13, hasta el último día de medición.

#### 4.7.1 Pérdida de masa del bioplástico con degradación aerobia.

En la **Tabla 19**, se evidencian los datos obtenidos del porcentaje de pérdida de peso con la aplicación de degradación aerobia.

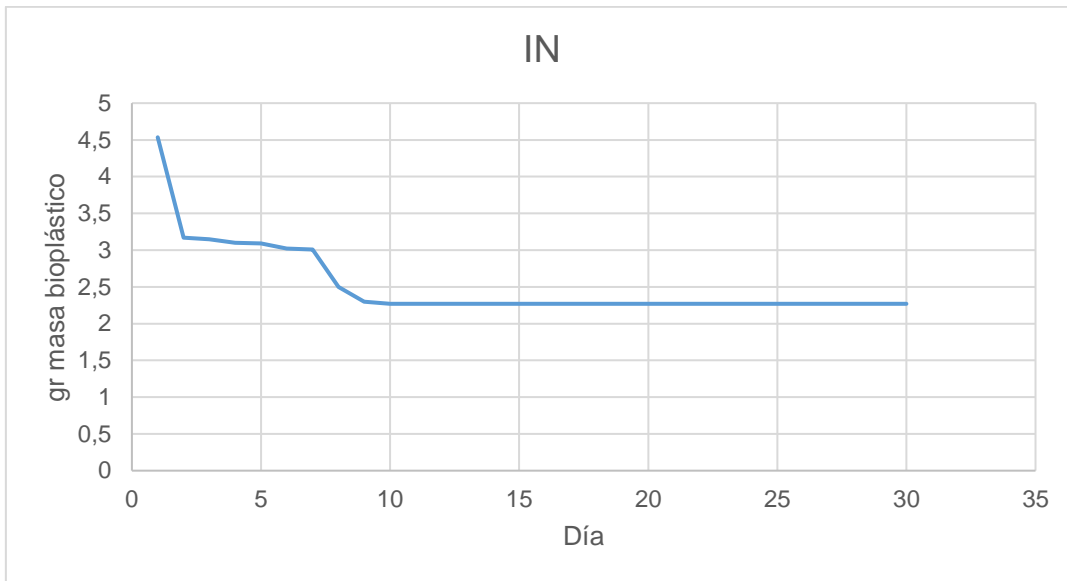
**Tabla 19** Resultado del cálculo de pérdida de masa (gr), degradación aerobia

Día	Análisis medio aerobio			
	% Pérdida de peso			
	IN	INT	ZB	ZBT
5	31,86	42,13	26,24	43,67
10	49,28	47,36	39,67	56,22
15	49,94	50,12	54,70	57,17
20	49,94	50,12	54,70	57,17
25	49,94	50,12	54,70	57,17
30	49,94	50,12	54,70	57,17

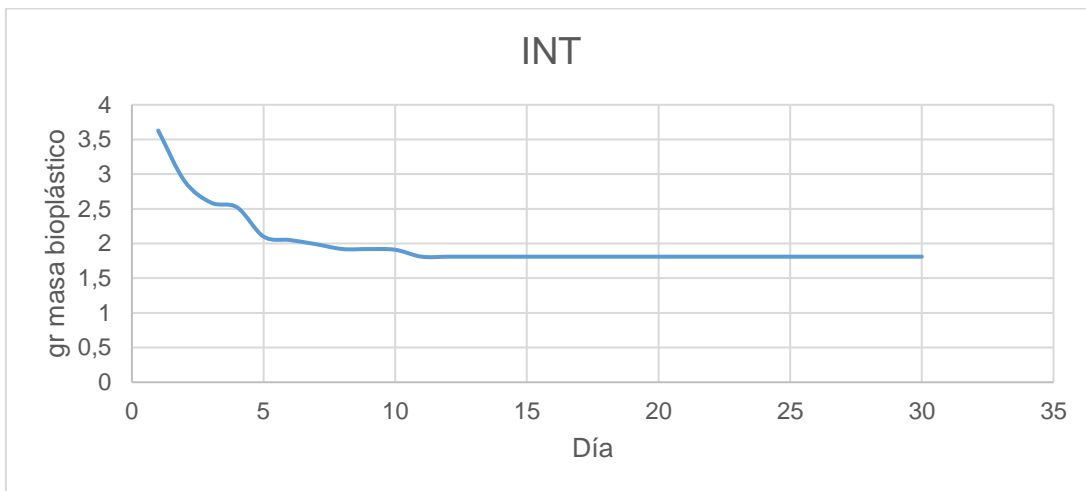
Los resultados del porcentaje de pérdida de peso evidencian que la variedad (ZBT), es la que más ha disminuido su masa, llegando a un 57% en un periodo de 30 días, y la que menos degradación presenta es el biopolímero (IN). La variedad (INT), alcanzó una reducción del peso hasta un máximo de 50.12%, y finalmente la muestra (ZB) un máximo de 54.7%.

Se presenta a continuación los gráficos de reducción de peso medidos en 30 días:

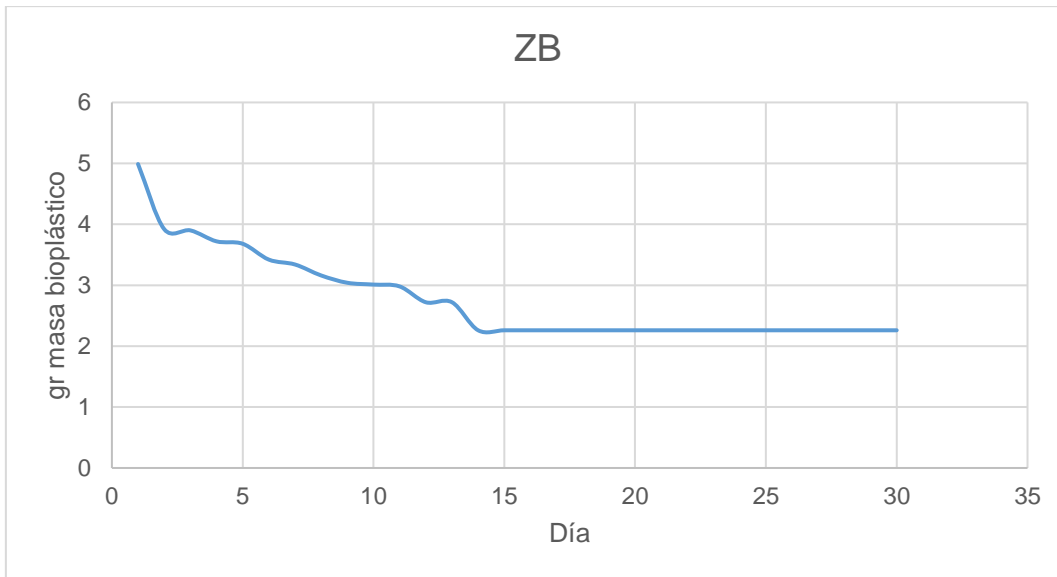
#### 4.7.2 Gráficos de degradación aerobia, pérdida de masa (gr)



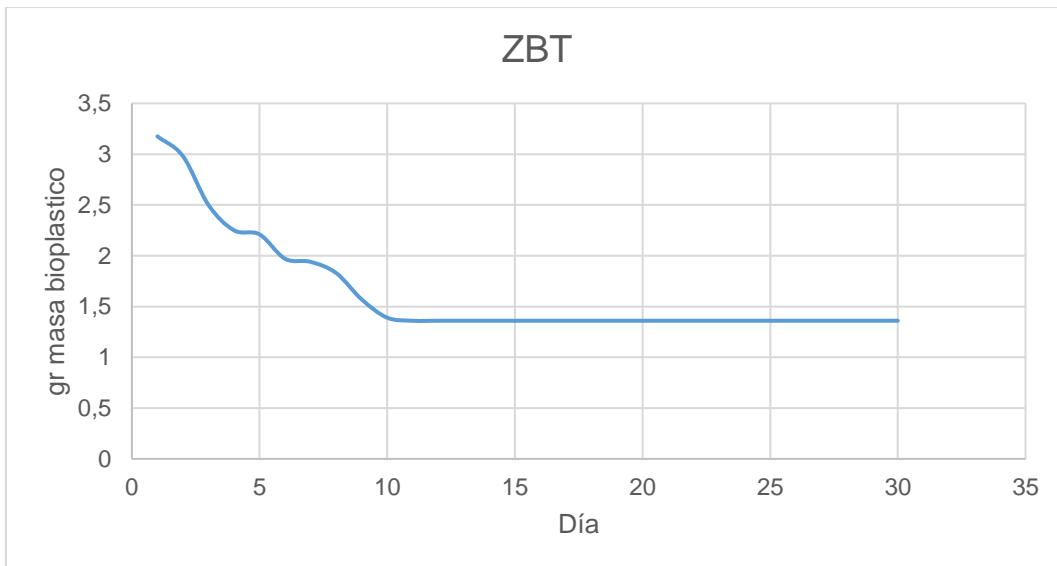
**Figura 42** Degradabilidad aerobia variedad de maíz INIAP-101.



**Figura 43** Degradabilidad aerobia variedad de maíz INIAP-101 con tratamiento de NaOH.



**Figura 44** Degradabilidad aerobia variedad de maíz (ZB).



**Figura 45** Degradabilidad aerobia variedad de maíz Zhima blanco con tratamiento de NaOH (ZBT).

La variedad de maíz que ha perdido una mayor cantidad de porcentaje en peso es (ZBT), alcanzando un 57% de pérdida dentro de los primeros 15 días, luego se mantuvo constante hasta el día 30, demostrando que este material bioplástico no degrada en su totalidad. Por lo que los materiales de bioplásticos elaborados necesitan más tiempo de degradación y posiblemente la intervención de otros factores, como la temperatura, agua, humedad y luz solar, que podrían ser de gran influencia en la degradación del mismo.

#### 4.8 Resultados degradación anaerobia

##### Degradabilidad anaerobia

En la **Tabla 20** se muestra los datos obtenidos en la medición diaria por un mes completo. Los datos servirán para poder calcular el porcentaje de pérdida de peso.

**Tabla 20** Resultado de pérdida de masa (gr) de almidón en 30 días, degradación anaerobia

Día	IN	INT	ZB	ZBT
1	4,849	3,564	4,511	3,285
2	4,832	3,506	4,507	3,245
3	4,752	3,492	4,502	3,117
4	4,481	3,302	4,412	3,104
5	4,196	3,109	4,401	3,085
6	4,048	3,056	4,356	3,004
7	3,764	2,993	4,106	2,813
8	3,648	2,975	4,028	2,682
9	3,487	2,954	4,007	2,512
10	3,401	2,932	3,762	2,289
11	3,207	2,914	3,758	2,228
12	3,105	2,907	3,627	2,17
13	3,041	2,705	3,508	2,12
14	2,874	2,514	3,418	2,08
15	2,726	2,478	3,407	1,745
16	2,432	1,956	3,115	1,711
17	2,349	1,81	3,101	1,681
18	2,135	1,784	3,071	1,54
19	1,991	1,742	2,452	1,528
20	1,906	1,737	2,341	1,537
21	1,906	1,735	2,307	1,53
22	1,906	1,734	2,281	1,53
23	1,906	1,734	2,14	1,53
24	1,906	1,734	2,14	1,53
25	1,906	1,734	2,14	1,53
26	1,906	1,734	2,14	1,53
27	1,906	1,734	2,14	1,53
28	1,906	1,734	2,14	1,53
29	1,906	1,734	2,14	1,53
30	1,906	1,734	2,11	1,522

Los datos obtenidos evidencian una disminución de la masa en comparación desde el día 1, sin embargo, se muestra un peso constante en todas las variedades, aproximadamente entre el día 19, hasta el último día de medición. Analizando los datos obtenidos la degradación anaerobia es mejor en cuanto a reducir la masa del biopolímero.

#### 4.8.1 Pérdida de masa del bioplástico con degradación anaerobia.

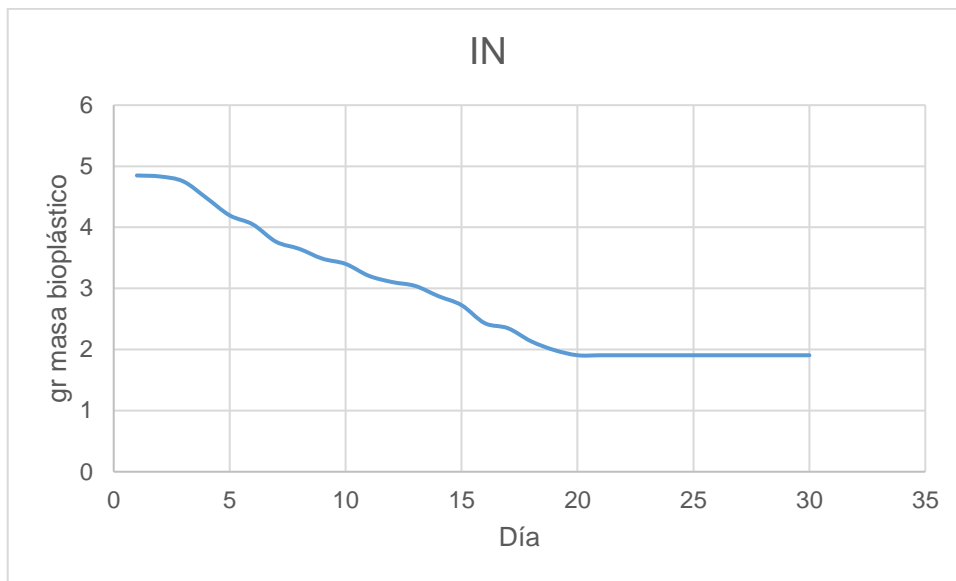
En la (Tabla 20), se evidencia el cálculo obtenido para el porcentaje de pérdida de peso con la aplicación de degradación anaerobia.

**Tabla 21:** Resultado del cálculo de pérdida de masa (gr), degradación anaerobia.

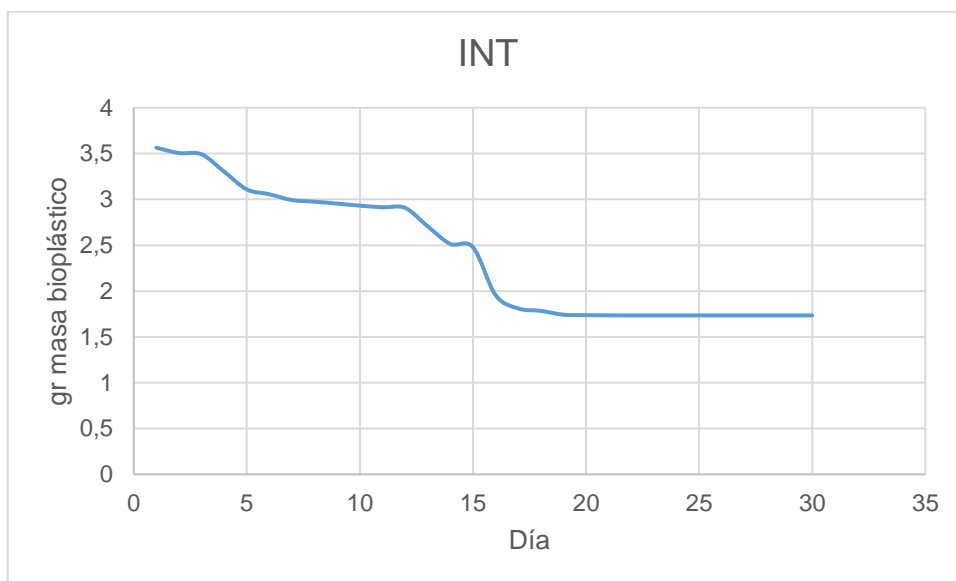
Día	Análisis medio anaerobio			
	IN	INT	ZB	ZBT
5	13,47	12,77	2,44	6,48
10	28,09	17,73	16,60	30,32
15	40,73	30,47	24,47	46,88
20	50,69	61,26	48,10	63,21
25	50,69	61,35	52,56	63,42
30	50,69	61,35	53,23	63,67

Los resultados del porcentaje de pérdida de peso evidencian que la variedad (ZBT), es la que más ha disminuido su masa, llegando a un 63% en un periodo de 30 días, y la que menos degradación presenta es el biopolímero (IN) que llegó a un 50% de pérdida de peso, la variedad (INT) alcanzó una reducción máxima del 61% de peso, y la muestra (ZB) un 53% de pérdida de masa.

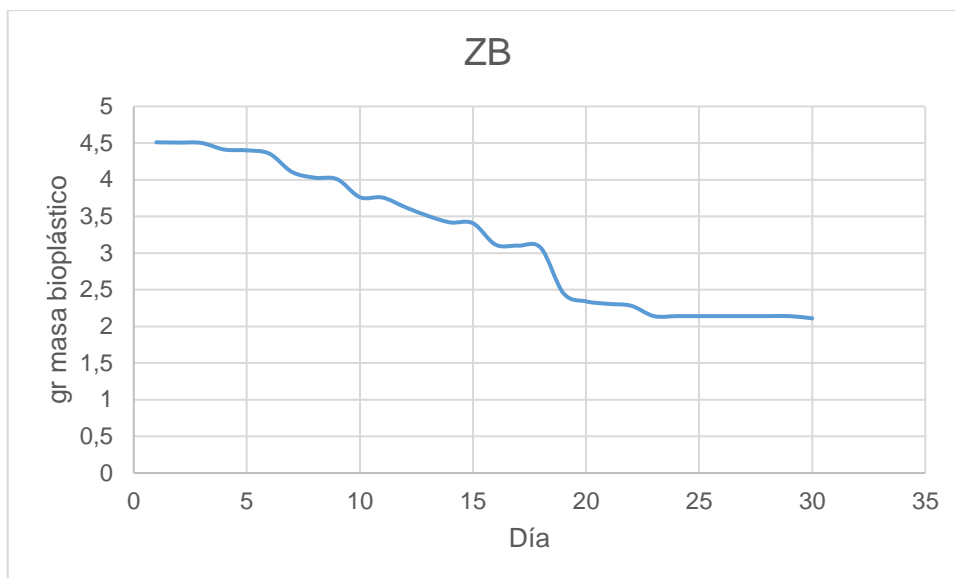
#### 4.8.2 Gráficos de degradación anaerobia, pérdida de masa (gr).



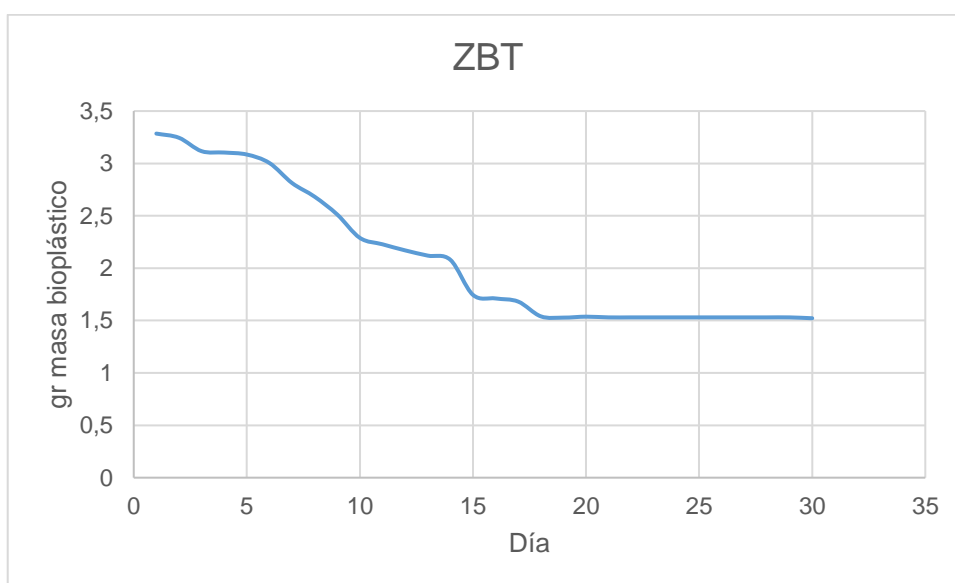
**Figura 46:** Degradabilidad anaerobia variedad de maíz INIAP-101.



**Figura 47** Degradabilidad anaerobia variedad de maíz INIAP-101 con tratamiento de NaOH



**Figura 48** Degradabilidad anaerobia variedad de maíz (ZB).



**Figura 49** Degradabilidad aerobia variedad de maíz Zhima blanco con tratamiento de NaOH (ZBT).

La variedad de maíz que ha perdido una mayor cantidad de porcentaje en peso es (IN), alcanzando un 60% de pérdida dentro de los primeros 20 días, luego se mantuvo constante hasta el día 30, demostrando que este material bioplástico no degrada en su totalidad. La variedad con menos degradación fue (INT) con 51% de pérdida de masa. Por lo que los materiales de bioplásticos elaborados necesitan más tiempo de degradación y posiblemente la intervención de otros factores, como la temperatura, agua, humedad y luz solar, que podrían ser de gran influencia en la degradación del mismo.

#### **4.9 Discusión almidón obtenido**

El almidón obtenido fue de vital importancia, pues este sirvió como base biológica o materia prima para la elaboración de bioplástico, se demostró que no es necesario la utilización de hidróxido de sodio para obtener mayor rendimiento de almidón, pues las pruebas ANOVA y Tukey demuestran que no hay una diferencia significativa, sin embargo la investigación de (Tovar, 2008), demuestra que la utilización de otros métodos además del hidróxido de sodio ayuda a mejorar el rendimiento, como la extracción por proteínas y pruebas de centrifugación. Los resultados de rendimiento de almidón obtenidos por (Avellán et al., 2020) fueron inferiores ya que obtuvo un rendimiento del 5.72%, mientras que en la investigación se logró un rendimiento del 66% en la variedad (IN).

Los resultados de pH son bajos en comparación con Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456, donde señala que debe existir un pH de 4,5 - 6,5, en el estudio empleado por (L. Rodríguez et al., 2015) señala un resultado de pH de 5,74 - 6,08, los resultados obtenidos en este estudio son inferiores a los ya mencionados que van en un rango de 3 a 4.

La humedad del almidón presente en este estudio fue un rango de 5.25% a 7.9%, es relativamente bajo en comparación con otros autores como: (Beltrán, 2006) que obtiene una humedad de 9.5%, (Ledesma, 2021) que obtuvo porcentaje de humedad de 9.5%–14.16% y (Bianco et al., 2015) con una humedad de 10,99%.

#### **4.10 Discusión del bioplástico elaborado a base de almidón de maíz**

El bioplástico obtenido fue sometido a pruebas de fuerza y elongación, en pruebas de fuerza la variedad (IN) con 17N es la más fuerte analizada en este estudio, las investigaciones de (Mali, 2002) y (Vicentini, 2003), quienes utilizaron como base biológica el almidón de yuca es inferior al resultado obtenido en la investigación ya que obtuvieron resultados menores o iguales a 9N, en comparación con el resultado de (Angamarca & Delgado, 2022), donde utilizaron rastrojo de maíz es mucho más fuerte llegando a resistencias de 203N.

Los análisis de elongación o desplazamiento obtenidas en la investigación son menores en cuanto los autores (Arévalo, 1996) quien obtuvo una elongación del 84.5% y (Ledesma, 2021) con un 33.78%, los investigadores mencionados utilizaron también la misma base biológica de almidón de maíz, por otra parte, existe se presenta resultado muy similar en la variedad (INT) con un 29.41% de elongación frente al almidón de quinua de (Ledesma, 2021) con un 29.18%

#### **4.11 Discusión degradabilidad aerobia y anaerobia empleada en los biopolímeros obtenidos**

La degradación aerobia puesta en 30 días obtuvo un máximo de pérdida de peso de 57% por otra parte en la investigación de (Guamán, 2019), quien logro una degradación

del 90%, esto demuestra una gran variación ya que fueron puestas al mismo tiempo de medición y con la colocación de sustrato. La investigación de (González et al., 2013), lograron que en menor tiempo de degradación aproximadamente 5 días, degradara en un 82% y 95%, lo cual demuestra una mayor efectividad.

Finalmente, la degradación anaerobia que también fue analizada en 30 días logro un máximo de degradación del 63% para la variedad (ZBT), por otra parte, el autor (Ledesma, 2021), alcanzo un promedio de degradación del 41.61%, esto demuestra una efectividad mayor en el biopolímero elaborado en esta investigación.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES

- Se logro obtener almidón de maíz ideal para materia prima o base biológica para la fabricación de bioplástico y por tanto se muestra un mejor rendimiento de almidón dentro de las 24 h de sedimentación la variedad (ZBT), y un bajo rendimiento la variedad (ZB), esto nos quiere decir que el tratamiento de hidróxido de sodio funciona al obtener mayor cantidad de almidón en el maíz Zhima blanco. Dentro del análisis de sedimentación de 2 a 3 días, la variedad que presenta un mayor rendimiento es el (IN), llegando a un 60% promedio de rendimiento, casi triplicando el porcentaje de rendimiento frente a las demás variedades, dando a entender que no se necesita un tratamiento de hidróxido de sodio para esta variedad, sin embargo, hay que resaltar el tiempo de sedimentación, pues en procesos industriales y comerciales hay que tener en cuenta el tiempo.
- Dentro del análisis de pH, todas las variedades presentan acidez ya que se tiene rangos que van desde 3.38 a 4.24. Finalmente, el porcentaje de humedad presenta en las variedades estudiadas van en un rango de 6% a 7.9%, el cual puede ser almacenado y evita riesgos de dañarse en el tiempo de almacenaje.
- El análisis de resistencia y elongación presenta ser más resistente la variedad (IN) llegando a una resistencia de 17N, y la variedad con menos resistencia fue (ZBT), que apenas alcanzó los 4.36N, en cuanto a mejor elongación presenta la variedad (INT), alcanzando los 35 mm de desplazamiento o un 29% de elongación, y presentando un menor desplazamiento fue la variedad (ZB), 17.08 mm, un 14.16% de elongación final.
- La degradación aerobia del biopolímero fue medida en 30 días, las cuatro variedades analizadas no degradaron en su totalidad, la única variedad que presenta más degradación fue (ZBT), que alcanza un porcentaje de degradación del 57% desde el quinceavo día, pero que se mantuvo constante hasta el último día de medición, por otra parte, la variedad que menos degradación presenta es (IN), que llego a degradar hasta un 49%, la variedad (ZB) logró un 50% y (ZBT) un 54% de degradación aerobia. Este biopolímero fabricado necesita aún mucho más tiempo de exposición al tratamiento de degradación aerobia, y que posiblemente en un ambiente con otros factores externos como, humedad, temperatura, luz o incluso el tipo de sustrato en el que se asiente. La normativa ASTM 6400, establece que el biopolímero debe ser degradado en un 60% o que sea compostable en un tiempo máximo de 180 días. Este biopolímero casi alcanzo esta medida en un mes.
- La degradación anaerobia presenta una mejor degradación, ya que alcanzo un valor máximo del 63%, para la variedad (ZBT), sin embargo, las otras variedades como (IN), (INT) y (ZB), presentan mejor resultados de degradación a comparación con la técnica aerobia. En esta prueba se logró cumplir la normativa ASTM 6400, donde estable que se debe llegar a un 60% de degradación en 180 días máximo, la variedad (ZBT) logro llegar a este porcentaje en 30 días.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la investigación de otras variedades derivadas del INIAP, ya que son granos de maíz experimentados y adaptados para tipos de clima frío y cálido. Con el fin de determinar que variedad de maíz presenta mejores resultados tanto en almidón como base biológica para bioplástico.
- La obtención de almidón de maíz debe ser sometida también a otros procesos físicos o químicos, por ejemplo, la posible utilización de algún floculante para poder hacer que sedimente aún mucho más rápido y en mayores cantidades de almidón. Mejorando así el porcentaje de rendimiento de extracción.
- Elaborar de 4 o más pruebas por cada muestra de bioplástico, esto con el fin de poder establecer un mejor análisis estadístico, descartando así posibles variaciones.
- Para las pruebas de degradabilidad aerobia y anaerobia es necesario tratar de simular de mejor manera los factores externos, tanto como temperatura, agua y humedad, esto puede facilitar una mejor degradación y en menor cantidad de tiempo.
- Dentro del país no existe una normativa o regulaciones sobre la clasificación de bioplástico y el correcto control de este, ya que Ecuador un país latinoamericano, aún no está encaminado al uso del producto de bioplástico, por lo tanto, es necesario incentivar el desarrollo, producción y comercio de este producto ya sea en las Universidades o de una manera de negocio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O., & Bello, L. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47, 1–12. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>
- Alarcón, H., & Arroyo, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(3), 315–323.
- Alcaide, M., Collado, C., & Sancho, J. (2020). Bioplástico degradable. *Ingeniería Materiales*, 5. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/16691/14254/58242>
- Alvares, M. M., & Carpio, I. L. (2019). *Estudio bibliográfico preliminar para la producción de plásticos biodegradables a partir de harina de yuca* [Universidad católica San Pablo]. [http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16051/1/ALVARES\\_MAMANI\\_MAR\\_BIO.pdf](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16051/1/ALVARES_MAMANI_MAR_BIO.pdf)
- Aponte, G., & Soledad, B. (2022). Bioplásticos : Sustentabilidad Ambiental y Principales Tendencias. *TEKHNE*, 25, 45–60.
- Arevalo, K. (1996). Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo. *Facultad De Ciencias Biológicas*, 1(1), 75–84. <http://eprints.uanl.mx/4767/1/1080073271.PDF%0Ahttp://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://gacetaii.iingen.unam.mx/>
- ASOBIOCOM. (2018). *Plástico biodegradable para acolchados*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/[https://www.asobiocom.es/wp-content/uploads/2018/02/manual-acolchados-biodegradables\\_ASOBIOCOM.pdf](https://www.asobiocom.es/wp-content/uploads/2018/02/manual-acolchados-biodegradables_ASOBIOCOM.pdf)
- ASTM D882. (2021). *ASTM D882 Propiedades de tracción de película delgada/láminas de plástico*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/[https://www.mts.com/-/media/materials/pdfs/test-standards/100-332-870\\_PlasticsD882.pdf?as=1](https://www.mts.com/-/media/materials/pdfs/test-standards/100-332-870_PlasticsD882.pdf?as=1)
- Avellán, A., Mendoza, A., Díaz, D., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios Universidad de Panamá, Panamá*, 7, nú. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/215/215974004/html/>
- Badui, S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/<https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
- Balarezo, D. (2014). Investigación del maíz blanco (shima) en la parroquia Rivera del Cantón Azogues, Provincia del Cañar y propuesta gastronómica [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD]. In *Universidad Tecnológica Equinoccial*. [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11952/1/58807\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11952/1/58807_1.pdf)
- Bejarano, N. (2018). "Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (Musa paradisiaca). In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7578>
- Beltrán, O. (2006). *Estudio para la obtención de almidón de maíz por molienda seca y extracción de proteínas*. 58, 116. [http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos\\_anexo/20060710\\_4140.pdf](http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20060710_4140.pdf)
- Bishop, G., Styles, D., & Lens, P. N. L. (2021). Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105451. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>
- Calderón, A. (2019). *Modificación química de almidón de maíz (Zea mays L.) por acetilación y*

- succinatación empleando el proceso de extrusión: Estudio del efecto del grado de sustitución, sobre las propiedades funcionales en películas comestibles* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA]. [https://dcta.uas.edu.mx/pdf/Reposicion/Gen\\_2014/Tesis\\_Abraham\\_Calderon.pdf](https://dcta.uas.edu.mx/pdf/Reposicion/Gen_2014/Tesis_Abraham_Calderon.pdf)
- Campozano, I. R., & Antonieta, M. (2022). Ácido poliláctico: una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones. *Publicaciones En Ciencias y Tecnología*, 16, 42–53. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8572671.pdf>
- Casalino Del Águila, F. C. (2020). Facultad de ingeniería y arquitectura 01 Facultad de Ingeniería y Arquitectura. In *Universidad Andina del Cusco*. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Caviedes C, M. (2003). *INIAP-101: Variedad de maíz blanco precoz*. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Charro, M. M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata* (Issue 1) [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>
- Chico, M., & Sampedro, T. (2022). Producción de bioplásticos y sus aplicaciones como empaque de alimentos: PLA Y PHB. *Revista Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 29, 31–56. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/aci/article/download/1858/2271/5416>
- Cortez, L. A., Petroche, D. J., Camba, W. E., & Mariscal, W. E. (2022). Comportamiento compostable y biodegradable de bioplásticos producidos con desechos agrícolas. *RECIAMUC*, 3, 546–555. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.546-555](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.546-555)
- De la Torre, G. E. (2019). Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. *Ciencia y Tecnología*, 15(1), 27–37. [https://www.researchgate.net/publication/338263789\\_Microplasticos\\_en\\_el\\_medio\\_marino\\_una\\_problematika\\_que\\_abordar](https://www.researchgate.net/publication/338263789_Microplasticos_en_el_medio_marino_una_problematika_que_abordar)
- Durán, M., & Espinosa, A. (2021). El engaño de los bio-plásticos. *Amigos de La Tierra*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/<https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2021/06/biofakes-bioplasticos.pdf>
- ECOPLAS. (2022). *Análisis de ciclo de vida de los productos para un menor impacto ambiental*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/<https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2022/09/Publicacion-63-Analisis-del-Ciclo-de-Vida.pdf>
- Ley orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso, Tercer Suplemento 1 (2020). [www.asambleanacional.gob.ec](http://www.asambleanacional.gob.ec)
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R., & Márquez, R. (2009). 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*, 4(4), 33–36. <https://doi.org/10.26461/04.07>
- European Bioplastics. (2016). *Bioplastics – Industry standards & labels. Relevant standards and labels for bio-based and biodegradable plastics*. 1–4. [http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_standards.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_standards.pdf)
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. (Mundi-Pren). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/<https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>
- Francisco, B. A., Vidal, I. M., Maldonado, Y. I., Jiménez, J., Flores, V., Arámbula, G., & Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón - gelatina. *Biotecnía, III*, 52–61. <http://biotecnia.unison.mx>
- Galloway, M. (2010). *Astm D 6400 Determing Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under*

*Controlled Composting Conditions.* 1–36. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.worldcentric.com/assets\_external/files/TPLA-Utensils-ASTM6400.pdf

- García A, O. R., Pinzón F, M. I., & Sánchez A, L. T. (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA, 11, 13–21.
- García, E., & Fernández, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación.* https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinación de humedad.pdf
- Godínez, M. F., Juárez, S., Nieto, R. A., & Senties, M. (2016). *BIOPLÁSTICOS: SOLUCIONES AMBIENTALES.* http://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2016/trabajos-ciencias-biologicas/biologia/11.pdf
- Gómez, J. G. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico-botellas sobre el medio vicerrectoria general de universidad abierta y a distancia facultad de ciencias y tecnologías administración ambiental y de los recursos naturales facatativá, cundinamarca año 2016.* https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf
- Guacho, E. F. (2014). Caracterización agro-morfológica del maíz (*zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo. [escuela superior politécnica de chimborazo]. In *Manajemen Asuhan Kebidanan Pada Bayi Dengan Caput Succedaneum Di Rsud Syekh Yusuf Gowa Tahun* (Vol. 4, Issue 2014). http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3455/1/13T0793 .pdf
- Guamán, J. (2019). Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial. In *Facultad de ciencias.* http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf
- HM Government. (2021). *Standards for bio-based , biodegradable , and compostable plastics Summary of responses to the call for. April 2021.* www.gov.uk/government/consultations/standards-for-biodegradable-compostable-and-bio-based-plastics-call-for-evidence%0AIf
- Holguin, J. S. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa* (Vol. 2) [FUNDACIÓN Universidad de américa]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf
- INECC. (2020). *Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89\_2020\_Documento\_Plastico.pdf
- Ledesma, A. A. (2021). *“Obtención de bioplástico a partir del maíz (Zea mays L) y quinua (Chenopodium quinoa) Para envolturas alimenticias biodegradables* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14974/1/96T00630.pdf#page=45&zoom=100,129,192
- López, J., Pomaquero, J., & Lopez, J. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos. *Polo Del Conocimiento*, 5(12), 725–742. https://doi.org/10.23857/pc.v5i12.2139
- López, J. V. (2011). Bioplásticos : efectos e impactos sobre la gestión de los envases. In *Congreso Nacional del Medio Ambiente.* http://www.premioconama.org/conama9/download/files/JTs/5009\_doc\_JVL%F3pez.pdf
- Martínez, G. M. (2013). *El almidón de maíz :un producto cada vez más valioso por su gran potencial alimentario e industrial.* 12–16. http://hdl.handle.net/20.500.12324/711
- Maza, J., Santiana, C., Flores, L., & Bonilla, M. (2021). Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea*

- Mays Amylosaccharata). *Revista Científica. Dom Ciencia*, 7(3), 943–958.  
<http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>
- Menoscal, R. E., & Rodríguez, E. D. (2017). Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*). In *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí “Manuel Félix López.”*  
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>
- Meza, P. N. (2016). *Universidad nacional agraria la molina*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Meza, P., Quipuzco, L., & Meza, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Rev. Del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 22, 67–80.  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/16691/14254/58242>
- Montero, S. (2018). *Efecto de la modificación química del almidón sobre la miscibilidad de mezclas de ácido poliláctico/almidón modificado termoplástico*. [CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA].  
 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/610/1/Tesis MTP Sailyn Montero 17 ene 2019.pdf
- Morales, A. (2018). *Análisis de riesgos y oportunidades para potencializar la producción de biopolímeros basados en residuos orgánicos relacionados con la producción de papa en Colombia*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Mori, I. M. (2022). *La importancia del agua destilada*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/23834/La%20importancia%20del%20agua%20destilada.pdf?sequence=3
- NTE INEN-ISO 14021. (2014). *Etiquetas y declaraciones ambientales – autodeclaraciones ambientales (etiquetado ambiental tipo ii) (ISO 14021:2009 + Enmienda 1:2011, IDT)*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-iso-14021-ext.pdf0>
- NTE INEN 2644. (2013). *Guía para la exposición y ensayo de plásticos que se degradan en el ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2644.pdf>
- Orellana, K. C. (2018). Estudio de la degradabilidad del pcl (policaprolactona) dosificado con la lignina extraída de la fibra de banano [Universidad Politecnica Salesiana]. In *Revista Iberoamericana de Polímeros, ISSN-e 0121-6651, Vol. 19, N° 4, 2018, págs. 128-141* (Vol. 19, Issue 4).  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512678&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512678&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512678>
- Ortiz, P. (2012). *Los envueltos en la provincia del Azuay: historia, características y propuesta de innovación* [Universidad de Cuenca].  
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1589/1/Trabajo de titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1589/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf)
- Paredes, R. A. (2020). *Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial Propuesta de elaboración de bioplástico en base a almidón de yuca para vasos descartables* [Universidad Continental].  
 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12438/2/IV\_FIN\_108\_TI\_Paredes\_Vega\_2020.pdf
- Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú*.
- Pluas, R., Martinez, C., & Zambrano, Y. (2020). *Los bioplasticos: para una alternativa ecológica Bioplastics: an ecological alternative Bioplásticos: una alternativa ecológica*. 5(10), 274–282.

<https://doi.org/10.23857/pc.v5i10.1805>

- Posada, E. (2022). *Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia* [Corporación Universitaria Minuto de Dios]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14664/1/UVDT.A\_PosadaEstefany\_2022
- Ramos, M. de L., Romero, C., & Bautista, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19, 30–44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>
- Rampérez, J. (2021). El ácido poliláctico (PLA): Un material innovador en la actualidad. *Universitas Almeriensis*, 14–16. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.claraboyas.es/wp-content/uploads/2021/04/Trabajo-PLA.pdf
- Redrobán, M. C. (2013). El Manejo de desechos sólidos y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de La Parroquia Rivera del Cantón Azogues [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. In *Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato* (Vol. 0, Issue 0). <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6527>
- Rios, C. A. (2021). *Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (zea mays l.) con fines de fitomejoramiento* [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16564/1/TTUACA-2021-IA-DE00030.pdf>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(September 2014), 69–72. file:///C:/Users/cliente/Downloads/12-ArielRguez..pdf
- Rodríguez, D., Espitia, M., Caicedo, Y. E., Córdoba, Y. E., Baena, Y., & Mora, C. E. (2005). Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha ( *Arracacia xanthorrhiza* ). *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 34(2), 140–146. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/download/9186/9823/15390>
- Rodriguez, I. (2014). Interpretación De Normas Internacionales De Distintos Ordenamientos Bajo El Acuerdo De Obstáculos Técnicos Al Comercio De La Omc. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 140, 617–648.
- Rodríguez, L., Gallardo, I., Nieblas, C., & Ortiz, W. (2015). Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón. *Centro Azúcar*, 42, 88–95. [http://conricyt3.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHcXmwtV1LT8JAEN6AFzXG-lzv9KSHBkLdguXgoSIETxLA6I3sdreklpBTign8LX-Cf8yZ3UKRallHL0077W738WV2ZnZmlhB6XSwVlniCxbgoVbnHBbWFVxIW6gFVxmH5orzMMZS43aLNrt15vmnlcrNTtzLav0480GDqMZD2D5M\\_rxQlcA8QgCuAAK4rwaCus](http://conricyt3.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHcXmwtV1LT8JAEN6AFzXG-lzv9KSHBkLdguXgoSIETxLA6I3sdreklpBTign8LX-Cf8yZ3UKRallHL0077W738WV2ZnZmlhB6XSwVlniCxbgoVbnHBbWFVxIW6gFVxmH5orzMMZS43aLNrt15vmnlcrNTtzLav0480GDqMZD2D5M_rxQlcA8QgCuAAK4rwaCus)
- Sánchez, J. de J., Ruiz, J. A., Medina, G., Ramírez, G., De la Cruz, L., Holland, J. B., Miranda, R., & García, G. E. (2018). Ecogeography of teosinte. *PLoS ONE*, 13(2), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192676>
- Sernaqué, F. A., Huamán, L. del C., Pecho, H., & Chacón, M. E. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola*, 47(4), 22–31. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-22.pdf>
- Políticas para gestión integral de plásticos en el Ecuador, 19 Lexisfinder 5 (2014). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Acuerdo-19.pdf>
- Tovar, T. (2008). “ *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz ( zea mays l ) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*” [Universidad autónoma del estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/?sequence=1>
- TUV Austria. (2019). OK biobased: from ASTM D6866 to EN 16640. *TUV Austria*, 531, 1–2. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://www.tuv-at.be/fileadmin/user\_upload/docs/download-documents/ID/ID-531\_OKB\_from\_ASTM\_D6866\_to\_EN\_16640\_EN.pdf

- Vélez, C. V., Zambrano, X. S., Delgado, M. H., Burgos, G. A., & Cedeño, C. A. (2021). *Almidones de cáscara de yuca (manihot esculenta) y papa (solanum tuberosum) para producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto geletinizante*. 6(2), 137–152. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3293/3817>
- Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2008). Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. *Informacion Tecnologica*, 19(2), 3–14. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642008000200002>
- Villamar, M., Contreras, C. A., Cruz, M. A., & Mendoza, E. J. (2020). Elaboración de utensilios de bioplástico a base de la cáscara de plátano. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 1–16. <http://hdl.handle.net/20.500.11763/ccc2005elaboracion-utensilios-bioplastico>
- Zambrano, H., & Antonieta, M. (2021). Desafío de los polihidroxicarbonatos como solución al problema de los plásticos de un solo uso. *Publicaciones En Ciencias y Tecnología*. Vol, 15, 15–26. <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt/article/view/3502/2204>

## ANEXOS

### Anexo 1: Instrumentos y equipos de laboratorio



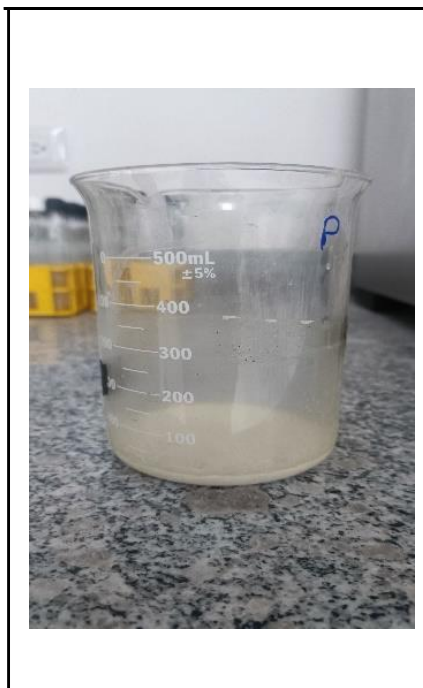
a) Estufa Memmert



b) Balanza de precisión



c) Espatula



d) Vaso de precipitación



e) Mechero



f) Pipeta



g) Filtro



h) Mortero

**Anexo 2:** Reactivos y plastificantes



i) Glicerina



j) Ácido acético



k) Agua destilada



l) Hidroxido de sodio

**Anexo 3:** Informes de prueba de elongación y fuerza generados por el laboratorio de Ing. Civil de la Universidad Politécnica Salesiana. Variedad (IN), (INT), (ZB), (ZBT).

## E n s a y o I N

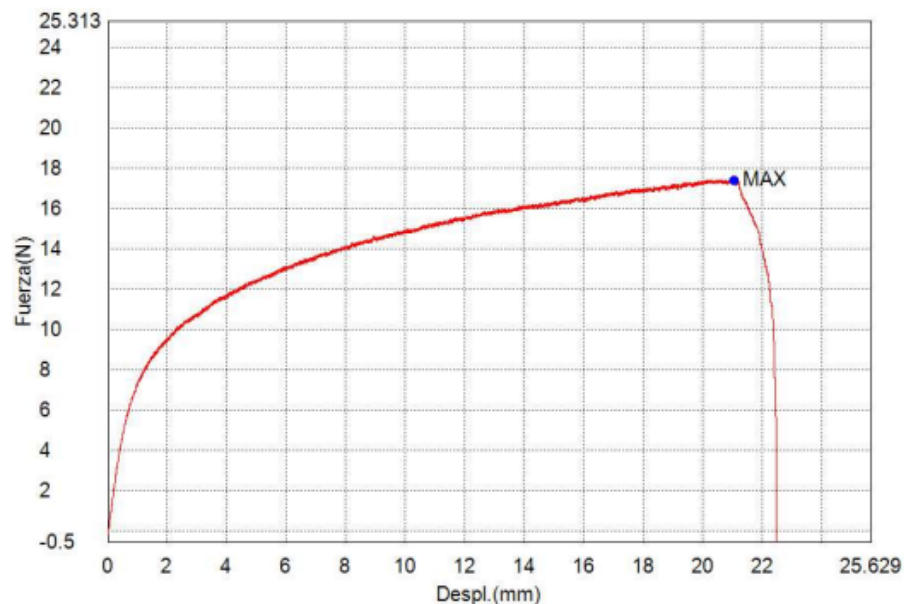
Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ensayo.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Tension IN.xmas
Fecha de informe	5/24/2023	Fecha de ensayo	5/24/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	M.Elastico	Pend_Standard	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Fuerza 10 – 20 N	Fuerza 10 – 20 N	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
1_1	--	--	--	--

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.	Rotura_Deformacion
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	mm	%
1_1	--	--	--	--

Nombre	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	17.4236	1.27527	21.0308	46.7350

Nombre	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%
1_1	21.0308	46.7350



# I N T

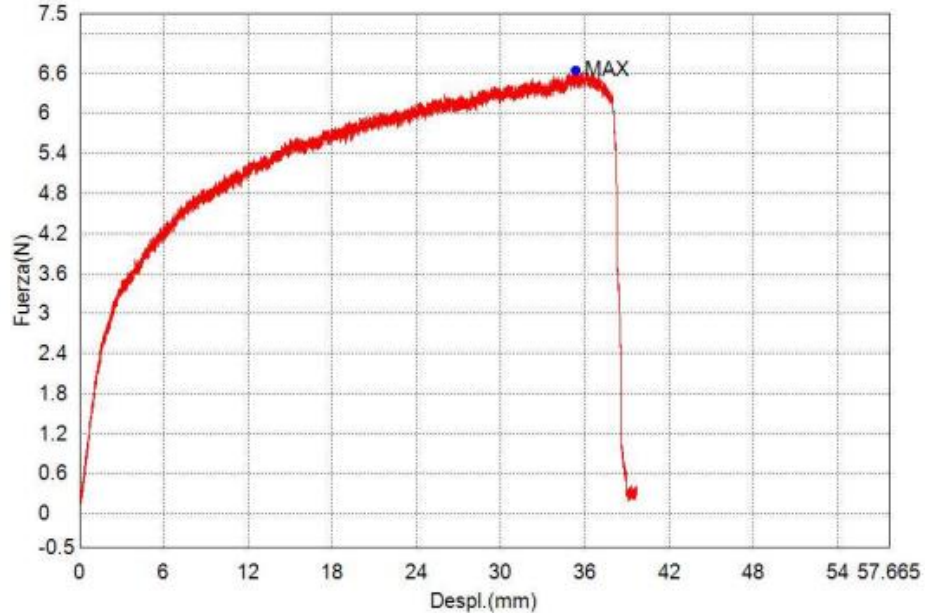
Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	INT.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Tension IN.xmas
Fecha de informe	5/24/2023	Fecha de ensayo	5/24/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	M.Elastico	Pend. Standard	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Fuerza 10 - 20 N	Fuerza 10 - 20 N	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
1_1	--	--	--	--

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.	Rotura_Deformacion
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	mm	%
1_1	--	--	--	--

Nombre	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	6.63439	0.58205	35.3074	78.4609

Nombre	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%
1_1	35.3074	78.4609



# Z B

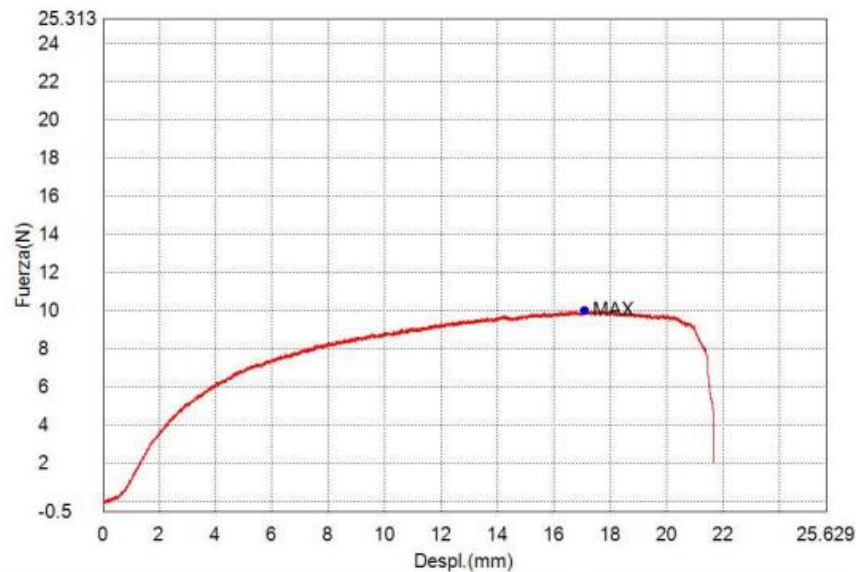
Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ZB.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Tension IN.xtmas
Fecha de informe	5/24/2023	Fecha de ensayo	5/24/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	M.Elastico	Pend. Standard	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Fuerza 10 - 20 N	Fuerza 10 - 20 N	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
1_1	--	--	--	--

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.	Rotura_Deformacion
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	mm	%
1_1	--	--	--	--

Nombre	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	10.0168	0.45684	17.0807	37.9572

Nombre	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%
1_1	17.0807	37.9572



# Z B T

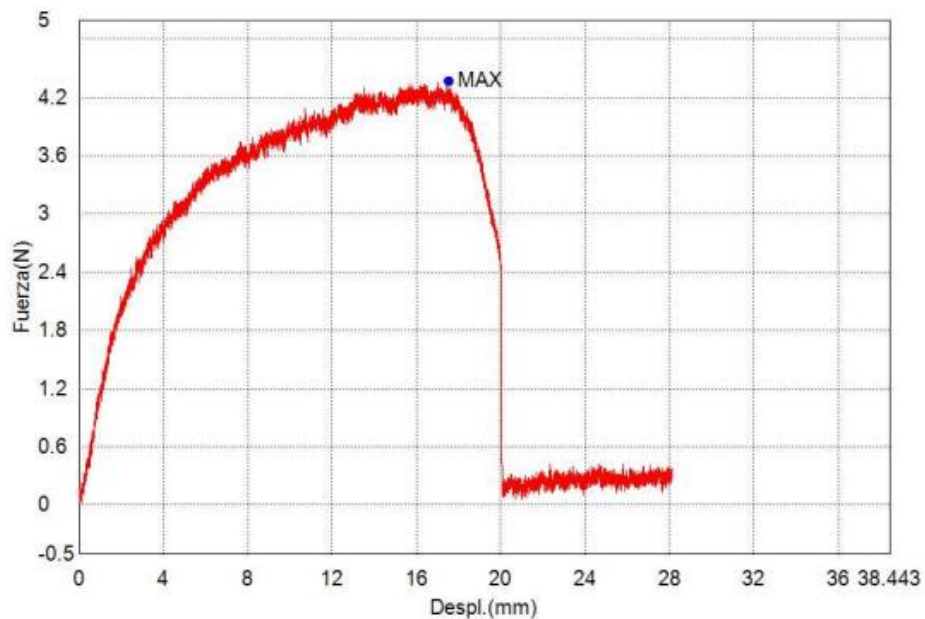
Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ZBT.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Tension IN.xmas
Fecha de informe	5/24/2023	Fecha de ensayo	5/24/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	M.Elastico	Pend_Standard	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Fuerza 10 – 20 N	Fuerza 10 – 20 N	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
1_1	--	--	--	--

Nombre	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.	Rotura_Deformacion
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	mm	%
1_1	--	--	--	--

Nombre	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	4.36783	0.36813	17.5382	38.9739

Nombre	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%
1_1	17.5382	38.9739



#### AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Milton Adrián Tigre Rocano portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0106113665 En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE DOS VARIEDADES DE SEMILLA DE MAÍZ (INIAP-101 & ZHIMA BLANCO”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de julio de 2023

F: 

Milton Adrian Tigre Rocano

0106113665