



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE ALIMENTOS

Desarrollo de un bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.).

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: María Belén Vargas Vivanco

Tutor: Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa MSc.

Ambato – Ecuador

Febrero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa, MSc.

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

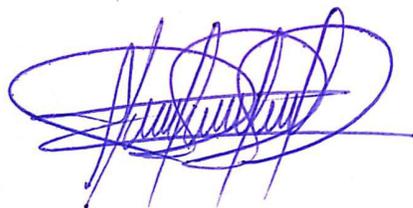
Ambato, 12 de enero del 2024.

Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa MSc.

C.I.: 1500647910

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, María Belén Vargas Vivanco, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



María Belén Vargas Vivanco

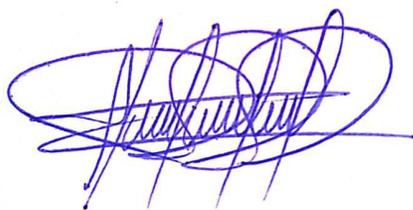
C.I.: 1724420953

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura y procesos de investigación, según normas de la Institución.

Cedo los Derechos en líneas patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



María Belén Vargas Vivanco

C.I.: 1724420953

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueba el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente de Tribunal

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

180414808-6

Dr. Rubén Darío Vilcacundo Chamorro

180273810-2

Ambato, 30 enero de 2024

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios y la Churonita (Virgen del Cisne) por darme la salud y fuerza necesaria para seguir luchando y guiarme en cada paso de este camino, mediante bendiciones y enseñanzas, pero sobre todo, por la sabiduría para terminar mis estudios.

A mis padres Milton y Lili por ser mi inspiración para seguir adelante, por su apoyo, ánimo y compañía en cada paso de este largo proceso.

A mis hermanos Thalía, Verónica, Sebastián y Alina por ser mi apoyo, motivación y compañía en esta travesía.

María Belén

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Churónita (Virgen del Cisne) por brindarme la salud y vida para continuar con esta travecia y no desampararme en los momentos difíciles a lo largo de mi vida.

A mis padres Lili y Milton por siempre motivarme a seguir adelante y no rendirme ante las dificultades, puesto que han trabajado duro por verme triunfar y cumplir cada uno de mis sueños, por ser mi ejemplo solo puedo decir ¡GRACIAS! por todo el amor y apoyo incondicional que he recibido de su parte, sin embargo, el reconocimiento que se merecen se queda corto, solo queda decir ¡GRACIAS! por todo, se merecen todo los amo y por ustedes lucho cada día.

A mis hermanos Thalía, Verónica, Sebastián y Alina por apoyarme en cada paso de mi carrera, por animarme cuando se presentaron dificultades y pensaba en rendirme, por ser mi aliento y motivación para seguir, por las llamadas y mensajes para saber si estoy bien, si he comido o si necesitaba algo, solo queda decirles ¡GRACIAS TROPA! Por todo y que seguiré luchando por ustedes, por darles lo mejor del mundo los amo.

A mis amigos por las enseñanzas brindadas, por acompañarme en mis locuras y ocurrencias, gracias por ser parte de mi vida y alegrarla en los momentos tristes, por las risas, regaños, vivencias y demás momentos los llevare siempre en mi corazón.

A la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por darme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución y todos los momentos vividos los llevare en mi corazón y memoria por el resto de mi vida.

A mis docentes por los conocimientos impartidos todos estos años, por la enseñanza, paciencia y formación en cada peldaño de mi vida estudiantil que serán mi guía en la vida profesional.

A mi tutor Ing. Gabriel Moreno por apoyarme en este proceso, por la paciencia, formación y conocimientos impartidos durante el proceso.

María Belén

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR (A).....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Contaminación por plásticos	1
1.1.2 Impacto ambiental	2
1.1.3 Películas biodegradables.....	6
1.1.4 Maíz.....	7
1.1.5 Maíz negro (<i>Zea mays</i> L.).....	8
1.1.6 Harina de maíz negro (<i>Zea mays</i> L.)	10
1.2 Objetivos.....	12
CAPÍTULO II	13
METODOLOGÍA	13
2.1 Materia prima.....	13

2.2 Elaboración un bioplástico degradable a partir de harina de maíz negro (<i>Zea mays</i> L.) y glicerol como plastificante.....	13
2.2.2 Desarrollo de un Bioplástico degradable.....	16
2.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas del bioplástico.	16
2.3.1 Propiedades fisicoquímicas	16
2.3.2 Contenido de humedad (%H)	17
2.3.3 Espesor.....	17
2.3.4 Propiedades mecánicas.....	17
2.3.5 Punción (N).....	17
2.3.6 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	18
2.3.7 Solubilidad de los bioplásticos (%S).....	19
2.3.8 Resistencia al agua.....	19
2.3.9 Propiedades ópticas	20
2.3.10 Color.....	20
2.3.11 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS)	20
2.4 Estimación de la degradabilidad del bioplástico bajo condiciones controladas.	21
2.4.1 Ensayo enterrado	21
2.4.2 Porcentaje de Materia seca	22
2.4.3 Caracterización Inicial del suelo en el proceso de biodegradación.....	23
CAPITULO III.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1 Desarrollo de un bioplástico a partir de harina de maíz negro (<i>Zea mays</i> L.) y glicerol como plastificante.	24
3.2 Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas del bioplástico.	25

3.2.1 Contenido de materia seca y humedad	25
3.3 Propiedades Mecánicas	30
3.3.1 Punción	30
3.3.2 Permeabilidad de vapor de agua (PVA)	32
3.3.3 Solubilidad de los Bioplásticos (%S)	36
3.3.4 Resistencia al agua.....	38
3.4 Propiedades Ópticas.....	42
3.4.1 Color	42
3.4.2 Barreras de luz y transparencia (UV-VIS).....	45
3.4.3 Biodegradación.....	48
3.4.4 Ensayo de enterrado.....	49
3.4.5 Porcentaje de materia seca (%SS)	53
3.4.6 Contenido de nitrógeno total en el suelo	54
CAPITULO IV	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
MATERIALES DE REFERENCIA	58
Referencias bibliográficas.....	58
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	10
<i>Componentes nutricionales del grano y la harina de maíz negro (Zea mays L.)</i>	10
Tabla 2.	15
<i>Diseño experimental A*B bifactorial para la elaboración de bioplásticos degradables a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	15
Tabla 3.....	22
<i>Condiciones ambientales del ensayo de biodegradación de noviembre a diciembre del 2023.</i>	22
Tabla 4.....	27
<i>Porcentaje de humedad (H %) y materia seca (MS %) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	27
Tabla 5.....	29
<i>Valores de espesor (mm) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	29
Tabla 6.....	31
<i>Cantidad de fuerza (N) para romper los bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	31
Tabla 7.....	34
<i>Porcentaje de permeabilidad de vapor de agua (PVA [g mm h⁻¹ cm⁻² Pa⁻¹]) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	34
Tabla 8.....	37
<i>Porcentaje de Solubilidad (% S) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	37
Tabla 9.....	40
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T1) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (2.5 %).</i>	40
Tabla 10.....	40
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T2) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (5 %).</i>	40

Tabla 11.....	40
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T3) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (7.5 %).</i>	40
Tabla 12.....	41
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T4) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (2.5 %).</i>	41
Tabla 13.....	41
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T5) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (5 %).</i>	41
Tabla 14.....	41
<i>Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T6) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (7.5 %).</i>	41
Tabla 15.....	42
<i>Resistencia al agua de un plástico PEBD de color negro (Control).</i>	42
Tabla 16.....	47
<i>Porcentaje de transparencia (T %) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.</i>	47
Tabla 17.....	48
<i>Caracterización inicial del suelo para análisis de biodegradación.</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Análisis de producción de plástico desde 1950 – 202</i>	5
Figura 2. <i>Diagrama de proceso de elaboración de bioplásticos a partir de harina de maíz negro (Zea mays L.) y glicerol. Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	14
Figura 4. <i>Análisis de espesor del bioplástico de harina de maíz negro (Zea mays L.) y glicerol. Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	29
Figura 5. <i>Análisis de punción de bioplástico a partir de harina de maíz negro (Zea mays L.) y glicerol; A: texturómetro; B: prueba de punción del T1 (5% de harina y 2.5% glicerol) Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	31
Figura 6. <i>Análisis de permeabilidad al vapor de agua de bioplástico a partir de harina de maíz negro (Zea mays L.) y glicerol; A: estructura del sistema; B: medición de permeabilidad al vapor de agua Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	33
Figura 7. <i>Variación de peso vs tiempo en el análisis de permeabilidad al vapor de agua (PVA) del bioplástico de harina de maíz negro (Zea mays L.) y control; A: (5% de harina y 2.5% glicerol); B: (5% de harina y 5% glicerol); C: (5% de harina y 7.5% glicerol); D: (10% de harina y 2.5% glicerol); E: (10% de harina y 5% glicerol); F: (10% de harina y 7.5% glicerol) y G: (funda plástica negra (PEBD)) Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	35
Figura 8. <i>Análisis de Solubilidad (S) del bioplástico de harina de maíz negro (Zea mays L.) y control; A: muestras sumergidas en agua destilada; B: muestras filtradas y secadas. Elaborado por: María Belén Vargas V</i>	36
Figura 9. <i>Análisis de resistencia al agua del bioplástico de harina de maíz negro (Zea mays L.) y control; A: preparación de muestras iniciales; B: punto de rotura de los bioplásticos después de 48 horas. Elaborado por: María Belén Vargas V.</i>	39

Figura 10. Índice de color del bioplástico de harina de maíz negro (<i>Zea mays l.</i>) y el control; L^* (Luminosidad del bioplástico); a^* (coordenadas de tonalidad rojo/verde); b^* (coordenadas de tonalidad amarillo/azul); c^* (saturación o intensidad de color); h^* (tonalidad) y ΔE (variación total del color). Elaborado por: María Belén Vargas V.....	44
Figura 11. Análisis de barrera de luz y transparencia de bioplásticos a partir de harina de maíz negro (<i>Zea mays L.</i>) y glicerol.....	46
Figura 12. Muestra de suelo para análisis de caracterización inicial; A: muestra de suelo para análisis de nitrógeno; B: muestra de suelo para análisis de pH. Elaborado por: María Belén Vargas V.....	48
Figura 13. Procedimiento del análisis de enterrado de los tratamientos y el control; A: maceta con tierra de fondo, malla y la muestra del bioplástico; B: muestra del bioplástico completamente enterrada; C: macetas para el análisis de biodegradación. Elaborado por: María Belén Vargas V.....	50
Figura 14. Análisis de biodegradación de los bioplásticos y la muestra control durante 30 días. Elaborado por: María Belén Vargas V.....	52

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación pretende desarrollar a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) buscando ofertar a la industria bioproductos innovadores basados en la reducción del impacto medio ambiental *in situ* que los plásticos sintéticos no lo hacen. El diseño experimental determinó que, si es posible la elaboración de los bioplásticos y que, además estos presentan buenas características físicas, mecánicas, ópticas y de biodegradación semejantes a los plásticos sintéticos convencionales (fundas negras de trasplante de plantas) basadas en polietileno de baja densidad (PEBD).

Los resultados obtenidos en los diferentes análisis muestran que los bioplásticos poseen un espesor de 0.5 mm, humedad de 15 por ciento, resistencia a deformaciones de 26 N, permeabilidad al vapor de agua aproximada de 1 gramos, milímetros, horas a la menos uno, centímetros a la menos 2, pascales a la menos 1, solubilidad de 18 por ciento, resistencia al agua de 48 horas, alta luminosidad y brillo, transparencia de 26 por ciento y alta biodegradación en un tiempo menos a 30 días.

Por otro lado, el desarrollo de bioplásticos de harina de maíz negro a escala industrial no requiere de maquinaria especial, debido a que se usa moldes plásticos, y temperatura para su secado. Finalmente, los bioplásticos muestran ser una alternativa ecológica para reducir la contaminación excesiva por desechos plásticos existentes en nuestro planeta.

Palabras claves: Gestión ambiental, degradabilidad, películas biodegradables, bioplásticos, maíz negro.

ABSTRACT

The present research project aims to develop from black corn flour (*Zea mays* L.) to offer to the industry innovative bioproducts based on the reduction of the environmental impact in situ that synthetic plastics do not. The experimental design determined that it is possible to produce bioplastics and that they have good physical, mechanical, optical and biodegradation characteristics to similar conventional synthetic plastics (black plant transplant sleeves) based on low density polyethylene (LDPE).

The results obtained in the different analyses show that the bioplastics have a thickness of 0.5 mm, moisture content of 15 percent, resistance to deformation of 26 N, water vapor permeability of approximately 1 gram, millimeters, hours to minus one, centimeters to minus 2, pascals to minus 1, solubility of 18 percent, water resistance of 48 hours, high luminosity and brightness, transparency of 26 percent and high biodegradation in less than 30 days.

On the other hand, the development of bioplastics from black corn flour on an industrial scale does not require special machinery, due to the use of plastic molds, and temperature for drying. Finally, bioplastics are shown to be an ecological alternative to reduce the excessive plastic waste pollution existing on our planet.

Key words: Environmental management, degradability, films, black maize.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Contaminación por plásticos

La palabra plástico proviene del griego *plastikos* que representa la acción de moldear algo mediante aplicación de calor (Góngora, 2014). Este producto es obtenido a partir de polímeros de carbono (hidrocarburos, derivados del petróleo) obtenidos por reacciones de polimerización (Perdomo, 2002). Los compuestos usados para la producción de plásticos son los hidrocarburos basados en el petróleo. Varios estudios han determinado que se pueden especificar tres tipos de plásticos, basados en sus componentes tales como: naturales, semisintéticos y sintéticos, sin embargo, existen productos de origen natural (celulosa, carbón, gas natural, entre otros) que pueden ser usados para la elaboración de estos productos (Zambrano et al., 2022)

Además, los plásticos de tipo natural presentan características de moldeo por acción de calor, pero sin recurrir a otros componentes que cambien la composición obteniéndose en su mayoría resinas (Arandes et al., 2004). Por otro lado, los plásticos semisintéticos consisten en una aleación de componentes naturales y sintéticos, formando productos más resistentes y maleables, con un grado de naturalidad (Matriz et al., 2015). Finalmente, los de tipo sintético son producidos a partir del carbono (petróleo, gas, carbón mineral), lastimosamente la naturaleza de sus componentes genera gran contaminación por su baja degradabilidad con relación al tiempo (Posada, 2016).

Es importante indicar que los plásticos al ser materiales con características versátiles proporcionan diversidad de usos en las industrias (Perdomo, 2002). Dependiendo de su composición pueden adoptar formas y durezas distintas para satisfacer necesidades deseadas en su uso final. En la actualidad, existen 7 tipos de plásticos en relación con su composición y uso (Arandes et al., 2004). El Polietileno Tereftalato (PET) es utilizado en su mayoría para la producción de botellas, peines, cuerdas, blíster (material plástico usado

en la elaboración de productos de papelería, envases de medicamentos, juguetes, entre otros) y bandejas, además posee el N°1 en la simbología de reciclado para generación de chalecos salvavidas, alfombras y otros productos (Zambrano et al., 2022).

Por otro lado, el Polietileno de alta densidad (HDPE - 2) es un material usado en la producción de botellas más resistentes (zumos, jugos, leches, etc.) además de otros productos como detergentes y shampoo (Barrientos, 2019). También la producción de plásticos tenaces como: tuberías, bandejas, plantillas de zapatos, entre otros productos se usa el Policloruro de vinilo (PVC - 3), mientras que para la producción de botellas para miel, bolsas, films y tapas de contenedores flexibles se recomienda el uso de Polietileno de baja densidad (LDPE - 4) (Sarria & Gallo, 2016).

Por otro lado, el polipropileno (PP - 5) es usado en la producción de contenedores plásticos de comida (toppers), platos, vasos, entre otros productos (Posada, 2016). El poliestireno (PS - 6) utilizado para la elaboración de recipientes térmicos con una alta resistencia al calor como lo son: vasos para té, aguas aromáticas o café y bandejas para empacar carnes (Padilla et al., 2017). Por último, el policarbonato (plástico de aspecto físico similar al vidrio), nylon, estireno y otros materiales no especificados en los materiales mencionados corresponden al tipo “Otros Plásticos” (Other - 7) que representan aleaciones de varios componentes durante la fabricación (Perdomo, 2002). Este tipo de plásticos son usados para la fabricación de lentes de sol, botellas para biberones, auto partes, hieleras y CDs (Arandes et al., 2004).

Finalmente, los números colocados en los envases plásticos representan una identificación proporcionada por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) con la finalidad de clasificar a los plásticos según el contenido de resina que posee en su fabricación y de ese modo mejorar los procesos de reciclaje.

1.1.2 Impacto ambiental

Durante los últimos años el uso de plásticos ha aumentado considerablemente al igual que los residuos generados por industrias alimenticias, provocando contaminaciones por micro plásticos en suelos (cosechas), ríos y mares (Zambrano et al., 2022). La existencia

del plástico sintético revolucionó la industria, puesto que es catalogado como el producto más fabricado, usado y vendido aumentando significativamente su producción anualmente (García, 2009). Sin embargo, este aumento ha generado un problema de impacto ambiental, debido a que los desechos plásticos son degradados en función a sus componentes, dando un tiempo estimado entre 100 y 1000 años para su descomposición, aproximadamente (Alcivar, 2020).

Dada la existencia de los plásticos y su división por familias existen variaciones en el tiempo de degradación y va desde la bolsa con un tiempo aproximado de degradación de 50 años hasta un globo que tarda aproximadamente 500 años en degradarse (Martínez et al., 2014). Por otro lado, la contaminación por microplásticos es muy elevada tanto en suelos como en mares, debido a los desperdicios arrojados al suelo que después de un tiempo liberan componentes que no afectan a las plantas directamente, si no generan una acumulación en los frutos generando así problemas de salud en los consumidores (Góngora, 2014). Los plásticos arrojados en los mares generan contaminación en la vida marina acumulándose en algas o animales marinos que al ser consumidos pasan al cuerpo humano (Vizúete et al., 2020).

Los microplásticos generados a partir de la contaminación por plásticos en espacios verdes y océanos, se encuentran disueltos en el agua generando afecciones en la fauna marina como: problemas digestivos, desarrollo y crecimiento (García, 2009). Otra afectación en suelos se debe a que las plantaciones usan agua de riego proveniente de ríos cercanos, los cuales en ocasiones se encuentran contaminados de microplásticos (Zambrano et al., 2022). En la actualidad, es muy común encontrar desperdicios plásticos (botellas, tapas, sorbetes, fundas o bolsas, platos, vasos y envolturas de alimentos) en playas y sitios turísticos, debido a la cantidad de turistas que visitan esos lugares (Perdomo, 2002). Finalmente, la producción de desechos sólidos generados por cada ecuatoriano es de 0.58 kg, donde el 11% de ese valor corresponde a desechos plásticos, sin embargo, este aumenta proporcionalmente en lugares de gran afluencia turística (INEC, 2018).

Desde el año 1976 al 2012, la producción de plástico mundial ha crecido un 72% debido a la industrialización de procesos alimentarios. A partir del 2013, se implementó nuevas normativas para reducir de forma significativa el impacto ambiental (Barrientos, 2019). La aplicación de la norma ISO 14001 ha sido de vital importancia, debido a que obliga a las empresas públicas y privadas a cumplir con medidas de control de aguas residuales, control de desechos sólidos (fundas y botellas plásticas, cartones, papel, entre otros) y manejo de químicos evitando la contaminación medioambiental nacional o internacional (Melendez et al., 2015). La implementación de certificaciones ha permitido disminuir considerablemente los desechos plásticos de las industrias e incluso permite implementar el reproceso de ciertos envases para fabricación de embalajes y otros productos de uso industrial (Alvarado, 2018).

En los últimos años se ha generado un desperdicio plástico anual aproximado del 5% que representa un valor entre 3 a 13 millones de toneladas que llegan a los océanos, formando islas de estos desperdicios (Martínez et al., 2014). Además, los plásticos acumulados en el océano pacífico generan conflictos en la navegación de los botes y barcos pesqueros donde no existe corrientes marinas o de viento que movilicen los desechos (Góngora, 2014). Varios estudios han demostrado que alrededor del 100% de la producción de plástico, un 66% representan materiales para producción de recipientes de alimentos para almacenamiento o de consumo inmediato, mientras que el 34 % restante, son materiales plásticos para otro tipo de productos de uso más prolongado como contenedores de alimentos, entre otros (García, 2009).

Por otro lado, los microplásticos son sustancias tóxicas que se obtienen al iniciar el proceso de degradación de los plásticos, sin embargo, el 72% de estos agentes se encuentran en las aguas residuales y zonas de relleno sanitario (lugares donde se recolecta la basura y desperdicios de las zonas urbanas) (Flores, 2020). También en los últimos años varios estudios han demostraron que el crecimiento en la producción y uso del plástico es de 1.7 millones de toneladas anualmente, sin embargo, estos últimos 6 años se ha determinado un aumento en el promedio anual del 14% (Arandes et al., 2004).

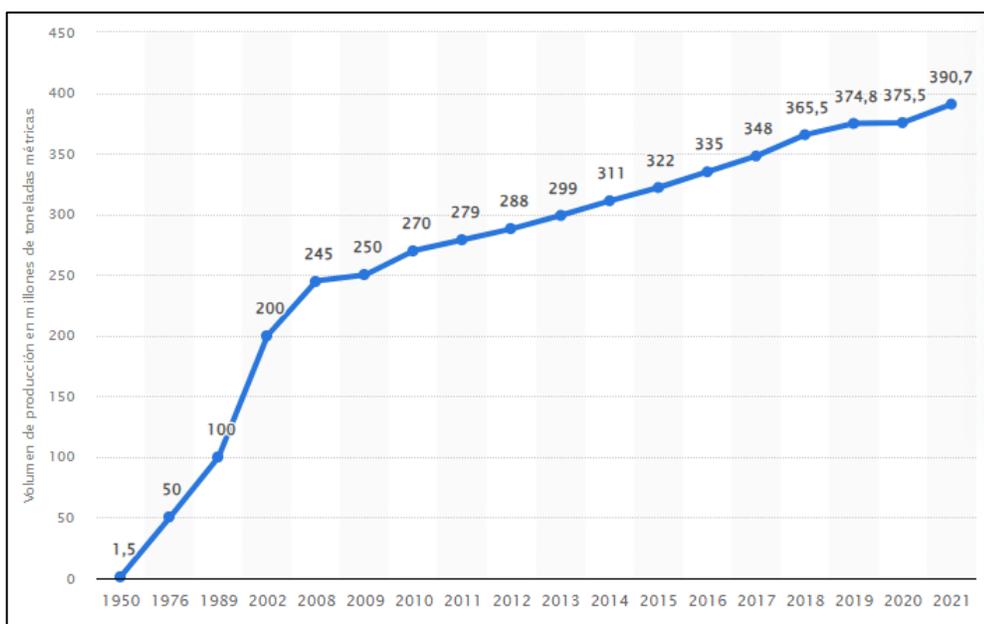


Figura 1. *Análisis de producción de plástico desde 1950 – 2021* (Statista, 2023)

Dentro de la producción de plásticos, las investigaciones estadísticas muestran un aumento donde el Polietileno de baja densidad (LPDE) tiene un 17%; Polietileno de alta densidad (HDPE) 12%; Polipropileno (PP) 19%; Policloruro de vinilo (PV) 11%; Poliestireno (PS) 7.5%; Poliestireno tereftalato (PET) 6.5%; Poliuretano (otros plásticos) 7%; y otros tipos el 20% formando aproximadamente el 80% de la producción mundial total (García, 2009).

En el Ecuador el uso del plástico para alimentos se ha enfocado en áreas específicas como producción y embalajes (Padilla et al., 2017). Otros usos que se han desarrollado para alimentos son la producción de envases, contenedores, bolsas y botellas para mejorar el transporte o extender el tiempo de consumo de los alimentos, pero no todos los plásticos son aptos para el contacto con alimentos, existen 5 tipos específicos (PE, PP, PS, PET y PVC) para estos productos (Proaño, 2020). Además, los plásticos permiten que los alimentos conserven calidad, frescura, características sensoriales, propiedades físicas y reológicas, evitando la contaminación cruzada y sean aptos para el consumo humano (Zambrano et al., 2022).

A partir de la revolución industrial los alimentos generaron un aumento en la producción de plásticos específicos para el uso alimenticio, evitando la contaminación o deterioro

(García, 2009). Los plásticos de grado alimenticio son: polipropileno (PP) usado con la finalidad de elaborar envases para alimentos que soporten características como temperatura (altas o bajas), corrosión, deformaciones y que sean reusables (Perdomo, 2002). Este material dentro de la industria alimentaria y culinaria es fundamental por su versatilidad en usos y es ideal para transportar comida (Flores, 2020). Otro plástico muy usado en la industria alimenticia es el PET, recomendado para el embotellamiento de agua natural y mineral, tarros, vasos, tupper y bandejas (Zambrano et al., 2022).

Es importante tener en cuenta el tipo de material a usar para el envasado de alimentos, puesto que a pesar de ser plásticos similares la utilidad final es diferente, donde el uso inadecuado de los plásticos puede aumentar el deterioro de los alimentos durante su almacenamiento o transporte (Vizueté et al., 2020). Como se ha mencionado anteriormente los plásticos más usados en la industria alimentaria son el Poliestireno tereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (HDPE) y el Polietileno de baja densidad (LDPE) (Posada, 2016). Siendo este último usado en la elaboración de bolsas para empacar alimentos, plástico film e incluso bolsas plásticas para compras de alimentos que pueden ser reutilizadas (Arandes et al., 2004).

1.1.3 Películas biodegradables

Las películas biodegradables parten de una matriz orgánica (harinas, almidones, entre otras), con la finalidad de preservar un alimento o envasarlo sin la necesidad de recurrir al plástico o utilizarla como alternativas al uso de plásticos sintéticos (Salazar & Sobrado, 2019). Los biopolímeros obtenidos de harinas permiten la obtención de productos con características de resistencia y durabilidad para el transporte, embalaje y almacenamiento, teniendo en cuenta condiciones para cada proceso (Macías et al., 2023). Es importante recalcar que los polímeros naturales de harinas generan alta biodegradabilidad al encontrarse en contacto con el ambiente, reduciendo la contaminación y aumentando la nutrición del suelo (Parra et al., 2022).

La celulosa ha sido el producto base en el desarrollo de productos amigables con el medio ambiente, sin embargo, diversas investigaciones demostraron que el uso de almidón en el desarrollo de bioplásticos permite uniones moleculares a través de puentes de hidrogeno (Holguín, 2019). Este tipo de envases permiten preservar un producto de la misma manera que lo haría un envase plástico, reduciendo desperdicios y la contaminación ambiental (Oropeza et al., 2016). La importancia de las películas biodegradables se basa en su estructura amigable con el medio ambiente, generando componentes nutritivos para el suelo (Montes et al., 2017).

Este tipo de materiales basan su funcionalidad en la biodegradación, puesto que permiten este proceso mediante la obtención de agentes aptos para el proceso cuando se encuentran expuestos a características ambientales de tipo aerobio o anaerobio (Solano et al., 2018). Teniendo en cuenta estas características, se menciona que una vez obtenida la biopelícula la funcionalidad esperada es la elaboración de coberturas naturales para alimentos o la elaboración de materiales de empaqueo alimenticio (Enríquez et al., 2012). Finalmente, el desarrollo de películas biodegradables o bioplásticos tiene diversas funcionalidades y dentro de la industria alimentaria se busca prevenir el deterioro de los alimentos, mediante el refuerzo y cubrimiento de cáscaras (*capas naturales externas*) reduciendo al máximo la pérdida de humedad, respiración (*intercambio de gases naturales*), pérdida de componentes nutricionales y sensoriales obteniendo un producto más estable y de calidad (Oropeza et al., 2016).

1.1.4 Maíz

El maíz (*Zea mays*) cuenta con un alto nivel nutricional pues posee aproximadamente 19 g de carbohidratos; 3.2 g de azúcares y proteínas; 1.2 g de grasas; 0.5 g de vitaminas y minerales, logrando un aporte energético de 86 kcal/100 g de maíz (Coral et al., 2019). Este cereal cuenta aproximadamente con 7 variedades de grano, coloración y ubicación geográfica, sin embargo, las variedades más comunes en el Ecuador son: maíz canguil, maíz tostado, maíz blanco (mote) y maíz negro (Acosta, 2009). Varios estudios realizados en base a diversas características han demostrado que en la actualidad existen entre 200 y 300 especies de maíz dentro del continente americano (Milán et al., 2017).

La etimología del maíz parte de *mahis* que significa sustentación de vida, un vocablo basado en el idioma indígena (Acosta, 2009). Esta planta ha existido desde miles de años, siendo específicamente una planta de alimentación silvestre, sin embargo, su origen se basa en una estimación de ocho mil años a raíz de su domesticación como planta de cultivo (Caballero et al., 2019). El maíz es un cultivo ancestral dentro de nuestro país, puesto que su cultivo se atribuye a la cultura “*Valdivia*” cultura asentada en la costa ecuatoriana hace aproximadamente 6500 años (Guillén et al., 2014). Además, su asentamiento según estudios es en Mesoamérica específicamente en los altos páramos mexicanos, pero se ha logrado introducirse como cultivo en distintos países donde su geografía permite generar calidad y variedad (Caballero et al., 2019).

Además, el maíz (*Zea mays*) es un alimento que por varias generaciones ha sido parte de la dieta humana en especial en Latinoamérica (región volcánica de México), debido a su versatilidad en la preparación de platos tradicionales o alimentos procesados (Ortega, 2014). Dentro de la clasificación taxonómica el maíz pertenece al reino vegetal del subreino *Embriobionta* además, la división a la que pertenece esta planta es de *Angiospermae* con clase *Monocotyledoneae* (Guacho, 2014). Al mencionar la familia se conoce que pertenece a los *Poaceae* procedentes de la orden *Poales*, en cuanto al género y especie del maíz es *Zea* y *mays* de ahí procede su nombre científico (Enríquez et al., 2012).

1.1.5 Maíz negro (*Zea mays* L.)

Es una variedad originaria de Perú, específicamente de las montañas, sin embargo, con el paso del tiempo ha sido cultivada en el Ecuador para la preparación de platos tradicionales (*colada morada*, *chicha morada* y *mazamorra*) (Agama et al., 2005). Este producto es usado en diversas preparaciones de tipo artesanal o en la fabricación de productos procesados como bebidas nutricionales o funcionales (Milán et al., 2017).

Además, posee características propias de cultivo (presión, humedad, altura, entre otras) por ejemplo, se requiere una altura de 2400 y 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm) para el crecimiento (Yáñez et al., 2020). En la actualidad no existe un estudio que logre especificar el origen real del maíz negro, sin embargo, se considera a este alimento como un alimento base en la dieta de los americanos (Milán et al., 2017).

La forma del grano es redonda, de coloración negra y presenta mayor contenido nutricional que otras variedades de maíz (Peralta, 2022). Esta propiedad se debe a que el grano posee un pigmento en altas cantidades de antocianina (cianidina-3- β -glucosa) pertenecientes a los bioflavonoides, dando una tonalidad de rojo-azulado con un valor aproximado de 1052.6 mg/100 g del agente antioxidante natural (Agama et al., 2005). Estudios relacionan a la antocianina como un agente anticancerígeno (presencia en el flujo sanguíneo radicales libres) por sus características antioxidantes y compuestos bioactivos (Bello et al., 2016). La cantidad de colorante natural depende de diversas características de nutrición y crecimiento de la planta, sin embargo, estudios muestran que existe un aproximado de 1.5 - 6 % de antocianinas (Guillén et al., 2014).

Otra característica funcional radica en que, debido a la elevada cantidad de este pigmento en el maíz, retrasa el envejecimiento de las células, aumenta la actividad de la enzima SOD (superóxido dismutasa) y de la misma manera existe un aumento en la expresión de ARN mensajero (Guillén et al., 2014). El nivel de cristalinidad del almidón de maíz cambia según la variedad y la cantidad de pigmentos que posee (Acosta, 2009). Varios estudios realizados en análisis de difracción de rayos X, determinan que el almidón de maíz negro cuenta con un porcentaje aproximado del 32% de cristalinidad por su alto contenido de antocianinas (Peralta, 2022).

Tabla 1.

Componentes nutricionales del grano y la harina de maíz negro (Zea mays L.)

COMPONENTE	GRANO DE MAIZ NEGRO Porcentaje (%)	HARINA DE MAIZ NEGRO Porcentaje (%)
Grasa	3.6	4.93
Proteína	7.3	7.2
Fibra	1.8	2.39
Agua	11.24	0.12
Carbohidratos	76.2	75.1
Minerales y Vitaminas	0.35	0.01
Energía	357 kcal	392.86 kcal

Fuente: (Guaminga, 2020; Yáñez et al., 2020)

Dentro de las propiedades nutricionales el maíz negro (*Zea mays L.*) cuenta con porcentajes de grasa, proteína, fibra, agua, carbohidratos, minerales y vitaminas por cada 100 g de maíz como se muestra en la tabla 1; Además, su estructura parte de monómeros de glucosa, un carbohidrato que al unirse que forman el polímero donde su función principal es formar anillos de estructura granular (Ortega, 2014).

1.1.6 Harina de maíz negro (*Zea mays L.*)

La harina de maíz negro se genera de los granos secos molidos, donde se obtiene aproximadamente 81.7% de almidón (Peralta, 2022). Asimismo, la harina de maíz negro (*Zea mays L.*) cuenta con un porcentaje de grasa de 4.93%, proteína 7.2%, fibra 2.39%, carbohidratos 75.1% y 0.01g de minerales y vitaminas por cada en 100g de harina, que generan un aporte energético de 373.57kcal (Yáñez et al., 2020). Sin embargo, presenta una variedad de usos dentro de la industria como adhesivos (papel y gomas) (Agama et al., 2005). Dentro de la industria farmacéutica se da la fabricación de píldoras, tabletas y cosméticos; mientras que en la industria textil su uso es el estampado de tejidos (Coral et al., 2019). En la industria alimentaria la harina de maíz negro (*Zea mays L.*) se usa como un agente ligante, adhesivo, estabilizante, gelificante, aglutinante y como recubrimientos comestibles y no comestibles (*films o películas*) (Guaminga, 2020). La versatilidad que proporciona el almidón genera características en la formación de geles, elasticidad y maleabilidad (Ortega, 2014).

Las matrices poliméricas parten de componentes orgánicos que generan características importantes como: baja densidad, resistencia mecánica; no son corrosivas, entre otras (Montes et al., 2017). En la actualidad, existen dos tipos de matrices poliméricas (termoplásticas y termoestables) basadas en características de resistencia a temperaturas o condiciones ambientales, elasticidad y maleabilidad aumentando su uso en la industria (Matriz et al., 2015). Con la evolución industrial se ha generado un incremento en el uso de matrices poliméricas que parten de fuentes alimentarias (harinas, cortezas de fruta, entre otros) (Posada & Montes, 2021).

Varias investigaciones han demostrado que el uso de harinas en la realización de bioplásticos ha generado una reducción en el impacto ambiental (Montes et al., 2017). Sin embargo, su relevancia se da porque pueden competir con fibras sintéticas por sus buenas propiedades mecánicas (elasticidad) (Oropeza et al., 2016). Las matrices poliméricas pueden obtenerse de animales, vegetales o minerales, siendo la más usada la celulosa (fibra vegetal) la cual cuenta con microfibrillas que generan enlaces hidrólisis de ácidos diluidos y bases (Matriz et al., 2015). Sin embargo, los bioplásticos obtenidos de harinas parten de almidón, el cual es un polímero que, al ser disuelto o hidratado proporciona firmeza en los bioplásticos y además posee pigmentos naturales que dan realce a los diseños y tonalidades como en los plásticos convencionales (Umaraw et al., 2020).

A pesar de que existen tres modelos (casting, spray y técnica de inmersión) para el desarrollo de bioplásticos el modelo recomendado es el de casting monocapa, debido a que la hidratación del polímero provoca un crecimiento de la molécula obstruyendo los canales del spray, mientras que el modelo casting permite tener mayor control de la hidratación y gelatinización del almidón (Qin et al., 2023). La importancia del desarrollo de este tipo de bioplásticos es prolongar la vida útil de alimentos de cualquier tipo (carnes, frutas, verduras, lácteos, entre otros) u otros productos como envases de alimentos procesados, o productos de cocina y de ese modo contribuir en la reducción del impacto ambiental, además de generar una alternativa de uso a los plásticos sintéticos, generando una importante conversión ambiental (Parra et al., 2022).

1.2 Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar un bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.).

Objetivos específicos

- Elaborar un bioplástico degradable a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y glicerol como plastificante.
- Determinar propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas del bioplástico.
- Estimar la degradabilidad en suelo del bioplástico bajo condiciones controladas

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materia prima

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó harina de maíz negro (*Zea mays* L.) obtenida del puesto de harinas, condimentos y granos del Mercado “Republica de Argentina” ubicado en la ciudad de Pelileo de la provincia de Tungurahua. Además, se utilizó glicerol como plastificante obtenido de la distribuidora “La Casa del Químico” de la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua.

2.2 Elaboración un bioplástico degradable a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y glicerol como plastificante.

Los bioplásticos degradables se elaboraron a través de la metodología de Moreno, (2015) utilizando la técnica de modelo casting en monocapa, esta técnica consiste en calentar a una temperatura de 80-90°C una solución filmogénica que contiene harina de maíz negro y agua. Posteriormente se enfría esta solución para agregar plastificante en distintas proporciones (glicerol). La solución filmogénica se procede a filtrar para eliminar impurezas o grumos obtenidas de la harina. Finalmente, se pesa en recipientes plásticos y se seca a 60°C durante 24 horas. Estos bioplásticos junto a su caracterización se desarrollaron en los laboratorios académicos, de investigación y laboratorios de LACONAL en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la figura 2 se presenta un diagrama de proceso de elaboración de estos bioplásticos.

La forma del grano es redonda, de coloración negra y presenta mayor contenido nutricional que otras variedades de maíz (Peralta, 2022). Esta propiedad se debe a que el grano posee un pigmento en altas cantidades de antocianina (cianidina-3- β -glucosa) pertenecientes a los bioflavonoides, dando una tonalidad de rojo-azulado con un valor aproximado de 1052.6 mg/100 g del agente antioxidante natural (Agama et al., 2005). Estudios relacionan a la antocianina como un agente anticancerígeno (presencia en el flujo

sanguíneo radicales libres) por sus características antioxidantes y compuestos bioactivos (Bello et al., 2016). La cantidad de colorante natural depende de diversas características de nutrición y crecimiento de la planta, sin embargo, estudios muestran que existe un aproximado de 1.5 - 6 % de antocianinas (Guillén et al., 2014).

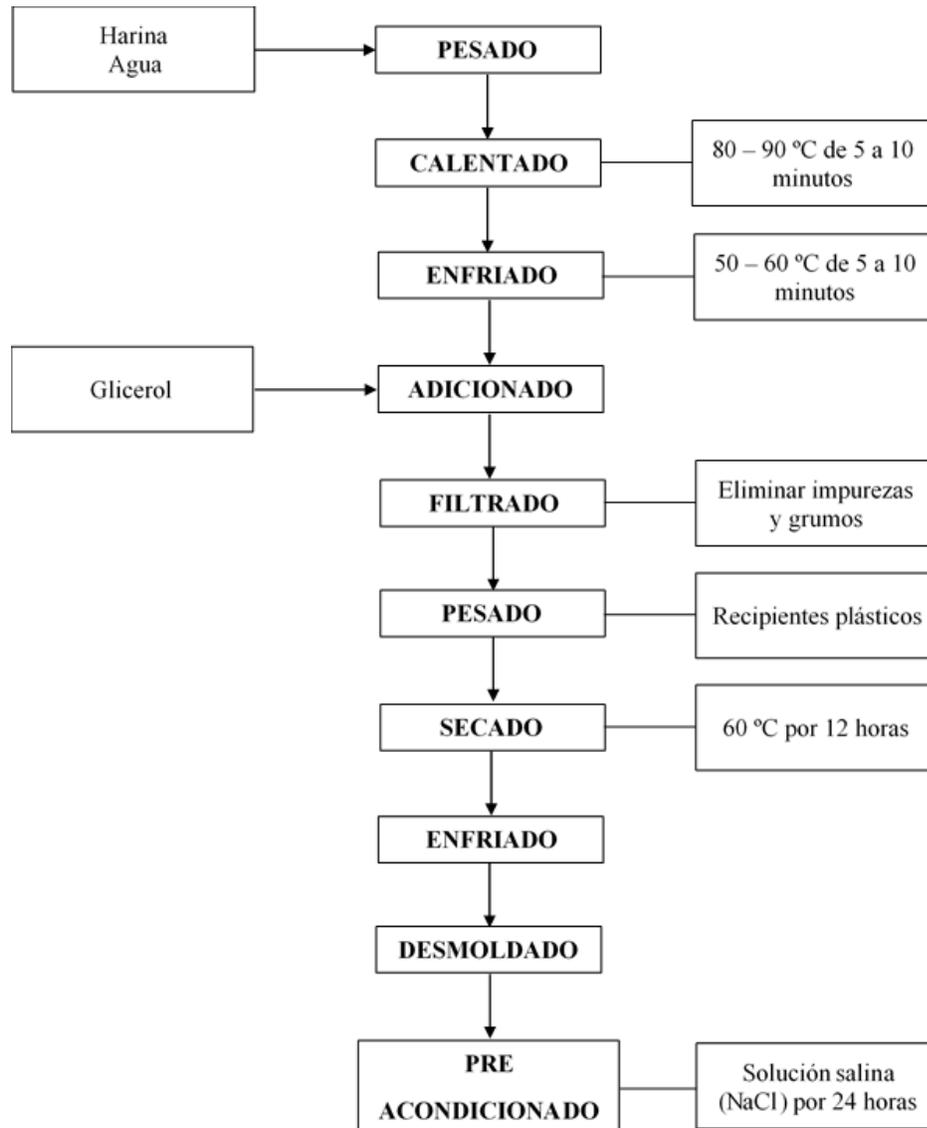


Figura 2. Diagrama de proceso de elaboración de bioplásticos a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol. **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

2.2.1 Diseño experimental de formulaciones del bioplástico

Para la obtención de los bioplásticos degradables a partir de la harina de maíz negro (*Zea mays* L.), se utilizó un diseño experimental de tipo A*B bifactorial como se indica en la tabla 3, y así obtener tratamientos de estudio. Dentro del análisis se requiere de una muestra control, donde se utilizó una funda plástica de polietileno de baja densidad (PEBD) de color negro usada en los viveros para el trasplante de plantas. La utilización de este tipo de plástico se debe a que permite inhibir el paso de luz en la raíz de la planta, permite el drenaje del exceso de agua, y la creación de un microambiente óptimo y único para las plantas mejorando sus características de adaptabilidad al suelo (Basave et al., 2017). Además, nuestros bioplásticos, debido al color de la harina de maíz negro son oscuros y permiten generar una relación entre los bioplásticos obtenidos y el control.

Tabla 2.

*Diseño experimental A*B bifactorial para la elaboración de bioplásticos degradables a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.*

Factores	Niveles	Diseño experimental A*B	Tratamientos
A: Harina de maíz negro (<i>Zea mays</i> L.)	A ₀ : 5 % de harina de maíz negro	A ₀ B ₀	T ₁ : 5 % de harina con 2.5 % de glicerol
	A ₁ : 10 % de harina de maíz negro	A ₀ B ₁	T ₂ : 5 % de harina con 5 % de glicerol
		A ₀ B ₂	T ₃ : 5 % de harina con 7.5 % de glicerol
B: Glicerol	B ₀ : 2.5 % de glicerol	A ₁ B ₀	T ₄ : 10 % de harina con 2.5 % de glicerol
	B ₁ : 5.0 % de glicerol	A ₁ B ₁	T ₅ : 10 % de harina con 5 % de glicerol
		A ₁ B ₂	T ₆ : 10 % de harina con 7.5 % de glicerol
	B ₂ : 7.5 % de glicerol		T ₇ : Bolsa plástica negra para vivero PEBD (polietileno de baja densidad).
Control		C	

Elaborado por: (Vargas, 2023)

2.2.2 Desarrollo de un Bioplástico degradable

Dentro del diseño experimental para la elaboración de los bioplásticos degradables se pesaron porcentajes de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) (5 y 10 g) como se especifica en la tabla 2, mediante el uso de una balanza de precisión (Citizen CG 1202). Luego se diluyó las muestras de harina con agua destilada (95, 90 y 85 ml) completando el 100 % de la disolución filmogénica y calentándola a temperatura de ebullición (80-90°C), en una plancha de calentamiento y agitándola constante de 5 a 10 minutos hasta formar una solución filmogénica de espesor considerable (Arévalo et al., 2010).

A continuación, se enfría la solución obtenida hasta alcanzar una temperatura de entre 65-70°C, posterior a ello se añadió el glicerol (2.5, 5 y 7.5 g) en relación con la solución filmogénica total como se muestra en la tabla 3. Una vez homogenizada la solución se filtró la mezcla para generar uniformidad en partículas de la muestra y eliminar la mayor cantidad de grumos. Los bioplásticos se desarrollaron por el método "*Casting*" en monocapa, motivo por el cual se pesaron 25 gramos de solución filmogénica dentro de una caja Petri plástica (56.75 cm²) para llevarla a un proceso de secado en una estufa (*Memmert*) a una temperatura aproximada de 50 – 60°C, durante 12 horas (Moreno, 2015). Finalmente se colocan los bioplásticos obtenidos en un desecador de vidrio que contiene una solución salina (NaCl) para humectar a las películas por 4 horas generando elasticidad en ellas.

2.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas del bioplástico.

2.3.1 Propiedades fisicoquímicas

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los bioplásticos es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, conservación de productos, compatibilidad con diferentes alimentos, sostenibilidad, biodegradabilidad, adecuación a procesos de envasado, identificar aplicaciones potenciales y la innovación en el desarrollo de nuevos materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Pereda et al., 2014).

2.3.2 Contenido de humedad (%H)

El contenido de agua dentro de los bioplásticos elaborados se determinó por el método de secado establecido por la A.O.A.C. (*Asociación Oficial de Químicos Analistas*) procedimiento 964.22 del año de 1990. Donde se coloca una muestra de 1.5 - 2.0 g en un crisol previamente secado y se coloca en una estufa a una temperatura de 110°C por un tiempo de 24 horas donde el contenido de agua obtenido se representa como el porcentaje del peso total (Crespo, 2002). Esta determinación se realizó por triplicado para generar una mayor precisión en los datos obtenidos.

2.3.3 Espesor

El espesor de los bioplásticos se determinó mediante un micrómetro (*Whale Brand, USA*) en 15 puntos de la muestra elegidas de forma aleatoria (Moreno, 2015). Esta determinación se realizó por triplicado para generar una mayor precisión en los resultados.

2.3.4 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un bioplástico son muy importantes, puesto que son las características que posee un material al ser sometido a fuerzas de deformación. Estas características son cualidades que especifican los usos del material basados en elasticidad, plasticidad, fragilidad, dureza, entre otros (Ocaña, 2020). Estas determinaciones se realizaron por triplicado en los laboratorios académicos, investigación y LACONAL en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.3.5 Punción (N)

Las pruebas mecánicas (punción) se realizaron con un medidor de textura (*Broolfield CT3 10K, USA*), el cual se encuentra controlado por el programa *TexturePro CT V1.2 Build 9* para el ingreso de características de análisis y para la visualización de resultados se usa el programa *RepView*. Esta prueba se realizó con muestras con un área aproximada de 100 cm² sujetas a la base del equipo que es una celda de tipo cuadrangular con un orificio en el centro de 35 mm de diámetro, donde un émbolo redondeado (esfera) de 5 mm de

diámetro fabricado de acero inoxidable generó presión hasta el punto de rotura del bioplástico con una velocidad de 100 mm/min (Moreno, 2015). Esta determinación se realizó por triplicado en el laboratorio de LACONAL en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.,

2.3.6 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Este análisis se determinó por duplicado, el cual se encuentra descrito por Suárez & Jetzy (2019), donde a una temperatura ambiente (21-25°C) se llenó un desecador de vidrio con agua destilada para generar un sistema que alcance el 100% de humedad relativa. Posteriormente, se llenan frascos de vidrio con aproximadamente 50 g de gel de sílice (sólido azul) y la parte superior se colocó las muestras de bioplástico obtenidos en cada uno de los tratamientos, luego se coloca una tapa con un orificio (10.75 cm de diámetro) como soporte del bioplástico.

Las muestras se pesaron en una balanza de precisión (Mettler Toledo) marcando un tiempo inicial y se mide el peso cada 10 minutos por al menos 2 horas. El paso del vapor de agua a través de los bioplásticos fue absorbido por el gel de sílice debido a su gran poder higroscópico, de esta manera se puede calcular la permeabilidad al vapor de agua en esta investigación y se calculará siguiendo la ecuación 1. Los resultados se expresarán en $g\ mm\ h^{-1}\ cm^{-2}\ Pa^{-1}$ (Ifuku et al., 2007).

$$PVA = \frac{w * x}{t. A. \Delta P}$$

Ecuación 1: Ecuación de permeabilidad de vapor de agua.

Donde:

PVA = permeabilidad al vapor de agua [$g\ mm\ h^{-1}\ cm^{-2}\ Pa^{-1}$]

w = peso ganado [g]

x = espesor de la película [mm]

t = tiempo [h]

A = área de película expuesta [cm^2]

ΔP = diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C) [Pa]

2.3.7 Solubilidad de los bioplásticos (%S)

En esta prueba los bioplásticos fueron cortados en cuadrados de 4 cm^2 de área, pesados y colocados en vasos de precipitación con un volumen de 50 ml de agua destilada a temperatura ambiente (22 – 25 °C) durante un tiempo de 24 horas. Luego la solución obtenida se filtró a través de un papel filtro *Whatman N° 4*, con el fin de recuperar los bioplásticos que no fueron disueltos y secarlos a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 24 horas (Ocaña, 2020). Esta determinación se realizó por duplicado expresando los resultados en porcentaje y la solubilidad de la película se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\%S = \left[\frac{(W_0 - W_f)}{W_f} \right] \times 100\%$$

Ecuación 2: Ecuación de solubilidad del bioplástico.

Donde:

W_0 = peso inicial de la película expresada como materia seca [g]

W_f = peso del residuo desecado sin disolver la película [g]

2.3.8 Resistencia al agua

Se determinó la resistencia al agua de los bioplásticos bajo la guía descrita por Moreno (2015), donde las muestras fueron fijadas en celdas calibradas con un área de 10.75 cm^2 y posteriormente se colocó agua destilada en una cantidad de 5 ml sobre la superficie del bioplástico cada 3 horas durante 24, en este punto se registró la deformación de los bioplásticos y el tiempo que tardan en romperse debido al efecto del agua (medida en cm) (Enríquez et al., 2012). Esta determinación se realizó por triplicado para mayor eficiencia de los resultados.

2.3.9 Propiedades ópticas

La evaluación de las propiedades ópticas de los bioplásticos degradables es esencial para comprender cómo estas características pueden afectar la calidad, envasado, presentación e interacción del material con diferentes productos y condiciones ambientales (*Benitende & Sánchez, 2002*). Estas determinaciones se realizaron por triplicado en los laboratorios de investigación en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.3.10 Color

Los parámetros de color fueron medidos con un colorímetro (*Lovibond, LC 100*), donde se obtuvieron valores de luminosidad, brillo y amarillez obteniéndose la tonalidad de color exacta del bioplástico y de la muestra control (*Moreno, 2015*) Esta determinación se realizó por triplicado para generar una mayor precisión en los datos obtenidos.

2.3.11 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS)

Las propiedades de barrera luz de los bioplásticos se determinó mediante el uso de un espectrofotómetro UV - VIS (*Infitek SP – LUV759, USA*), calibrado con un rango entre 200 nm a 800 nm, la muestra de bioplástico fue cortada de forma rectangular para colocarla dentro de una celda de cuarzo de 1 cm², previo a esto se usó una celda vacía como blanco para la medición (*Moreno, 2015*). Esta determinación se realizó por duplicado para mayor eficiencia de los resultados.

En cuanto al análisis de transparencia (% T) se basa en los resultados de absorbancia obtenida con anterioridad donde se realizó un cálculo mediante la ecuación 3 con el uso del método descrito por (*Ifuku et al., 2007*).

Donde:

$$\% T = 10^{-(Absorbancia)} \times 100\%$$

Ecuación 3: Ecuación de transparencia del bioplástico.

2.4 Estimación de la degradabilidad del bioplástico bajo condiciones controladas.

La estimación de la degradabilidad de los bioplásticos obtenidos permite garantizar un proceso amigable y equilibrado con el medio ambiente. Por otra parte, su relevancia radica en la reducción de contaminación de suelos mediante regulaciones y normativas ambientales (Crespo, 2002). La determinación de estos parámetros se llevará a cabo por triplicado en los laboratorios académicos y de investigación (UODIDE) de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.4.1 Ensayo enterrado

El ensayo de biodegradación se desarrolló con el uso en suelo orgánico natural, las muestras de los bioplásticos deben estar acondicionados a una humedad relativa aproximada del 75% previo al análisis. Se colocó en una maceta el suelo y muestras de los diferentes tratamientos y se enterró en condiciones ambientales normales (Temperatura máxima y mínima de noviembre a diciembre y su humedad relativa) como se muestra en la tabla 4, se colocó agua cada 3 días para simular condiciones de llovizna, y al cabo de 0, 5, 15, 25 y 30 días se desenterraron, limpiaron y finalmente se secan los bioplásticos a 60°C en estufa durante 24 horas hasta llegar a un peso constante (Moreno, 2015). El grado de biodegradación de las películas se determinaron siguiendo la ecuación 5. Esta determinación se realizará por duplicado en el laboratorio de académico de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

$$(W_{p\acute{e}rdida}) = \frac{(W - W_f)}{W} * 100$$

Ecuación 4: Ecuación de pérdida de peso del bioplástico.

Donde:

W y W_f es el peso de la película antes y después de la prueba de degradación en el suelo la cual será expresada en gramos.

Tabla 3.

Condiciones ambientales del ensayo de biodegradación de noviembre a diciembre del 2023.

Temperatura y Humedad (máxima y mínima) en Ambato		
Parámetro	17-nov-23	17-dic-23
Temperatura mínima (°C)	8.9	8.9
Temperatura máxima (°C)	16.9	16.5
% Humedad Relativa Media	83%	85%

Elaborado por: Vargas Vivanco María Belén

2.4.2 Porcentaje de Materia seca

El contenido de materia seca dentro de los bioplásticos elaborados se determinó por el método de secado establecida por la A.O.A.C. (Asociación Oficial de Químicos Analistas) del año de 1990. Se coloca una muestra de 1.5 - 2.0 g en un crisol previamente secado y se coloca en una estufa a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 24 horas donde el contenido de agua obtenido se representó como el porcentaje del peso total mediante la ecuación 6 (Crespo, 2002). Esta determinación se realizó por duplicado para generar una mayor precisión en los datos obtenidos.

$$SS [\%] = \frac{P(\text{muestra } 105^{\circ}\text{C incl. cápsula}) - P(\text{cápsula})}{P(\text{muestra húmeda})}$$

Ecuación 5: Ecuación del contenido de materia seca del bioplástico.

Donde:

SS = Porcentaje de materia seca [%]

P = Peso de la capsula y muestra [g]

2.4.3 Caracterización Inicial del suelo en el proceso de biodegradación

2.4.3.1 Contenido de nitrógeno total en el suelo

Se determinó del contenido de nitrógeno total del suelo (% N), como caracterización inicial del suelo orgánico con el que se desarrolló el análisis (Acevedo, 2011). Para esto se siguió el *método Kjeldahl*, el cual se basa en digerir una alícuota de la muestra del suelo junto con ácido sulfúrico, una mezcla de sulfato ferroso y sulfato de cobre en una relación de 20 a 1, se puede calcular la cantidad de proteína sabiendo el porcentaje de nitrógeno que esta contiene (Agrolab, 2005). Esta determinación se realizará por triplicado en el laboratorio LACONAL de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.4.3.2 Contenido de humedad del suelo

Este análisis se realizará al suelo, donde el contenido de humedad se determinará por secado, para lo cual se pesarán 5 gramos a 110°C por 24 horas; según la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (A.O.A.C), al menos por triplicado, el contenido de agua se expresará como porcentaje del peso total (Viteri, 2020).

2.4.3.3 Determinación de pH del suelo

El potencial de hidrogeno se determinará según la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (A.O.A.C), al menos por triplicado, a través de lectura directa utilizando un potenciómetro manual portátil, previamente calibrado, a temperatura ambiente (Spaans, 2020). Se pesarán 10 g de suelo seco y se agregarán 40 ml de agua destilada, se introduce el electrodo en la mezcla y se determina el pH.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desarrollo de un bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol como plastificante.

El estudio se desarrolló en base a los porcentajes de harina (factor A) 5 % y 10 % de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y 2.5 %, 5 % y 7.5 % de glicerol (Factor B) como se muestra en la tabla 3. El diseño experimental propone 6 tratamientos con distintas proporciones de harina y plastificante, además se utilizó una bolsa plástica negra de PEBD (polietileno de baja densidad) con categoría 4 en reciclaje, usada en los viveros para el trasplante de distintas plantas como muestra control. La utilización de este tipo de plástico se debe a que permite inhibir el paso de luz en la raíz de la planta, permitiendo el drenaje del exceso de agua, y la creación de un microambiente óptimo y único para las plantas mejorando sus características de adaptabilidad al suelo (Basave et al., 2017).

Los bioplásticos desarrollados muestran una apariencia superficial uniforme, maleables (la capacidad de los bioplásticos a deformarse sin provocar daños o romperse), sin grietas ni burbujas como se muestra en la figura 3, con una coloración oscura influenciada por los pigmentos procedentes de la materia prima (antocianinas) y es proporcional la cantidad de harina empleada, es decir mayor porcentaje de harina mayor contenido de pigmentos (Bhushan et al., 2023). Datos similares se obtuvieron en el estudio de almidones de cascara de yuca y papa para producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto gelatinizante donde se obtuvieron biopelículas maleables y uniformidad en la superficie con diferencia de color debido a que la materia prima posee carotenoides como pigmento natural (Vélez et al., 2021).

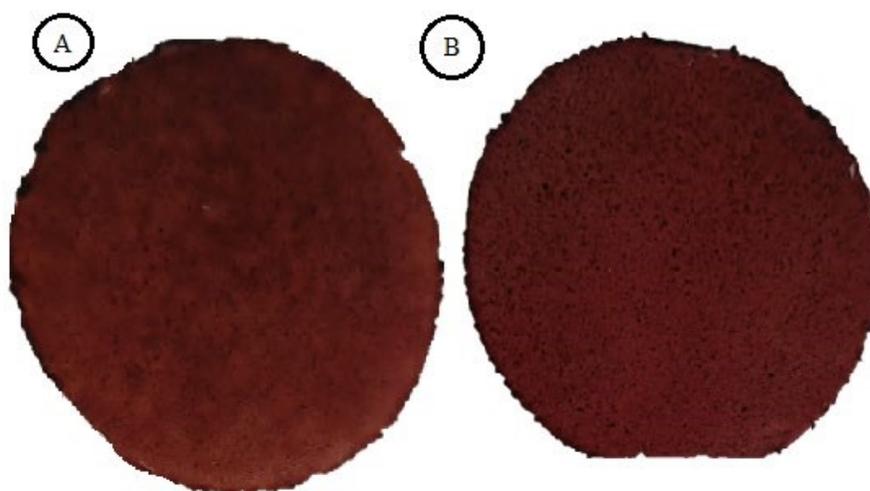


Figura 3. Muestra de bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol; A: T1 (5% de harina y 2.5% glicerol); B: T2 (5% de harina y 5% glicerol)

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Por otro lado, las variaciones de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol generaron características visuales diferentes para cada tratamiento como: firmeza, rigidez, maleabilidad, color, entre otros. Sin embargo, el tratamiento 4 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y 2.5 % de glicerol) mostro un mayor realce en las características mencionadas y puede estar relacionado a la gelatinización del almidón al ser hidratado y formación de la red polimérica que al ser secada busca retener un porcentaje de agua para no perder la estructura de la red (Cornejo et al., 2020).

3.2 Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas del bioplástico.

3.2.1 Contenido de materia seca y humedad

La determinación de humedad de los bioplásticos obtenidos se desarrolló por el método A.O.A.C. donde se observó que los tratamientos alcanzan una humedad de entre 15 % y 17 % como se muestra en la tabla 4. Esta característica puede encontrarse asociada a las interacciones moleculares del agua y el almidón para formar el bioplástico, eliminando agua durante el secado sin destruir la estructura del almidón (Macías et al., 2023). El resultado obtenido en el estudio de bioplástico de almidón de maíz, cáscara

de coco y papaya muestra una humedad de 16.16% generando una similitud con los resultados debido a que las interacciones moleculares y el glicerol proporcionan rigidez a la muestra sin perder la estructura del almidón gelatinizado (Oropeza et al., 2016).

Además, los resultados de la investigación mostraron una diferencia numérica del contenido de humedad (tabla 4), donde el tratamiento 4 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2.5 % de glicerol) obtuvo un valor de 15.48%, siendo el valor más bajo entre las muestras siendo numéricamente el mejor. Esta característica puede hacer referencia a la presencia de glicerol genera una rigidez en los bioplásticos generando una retención de sólidos mayor y evitando grietas (Macías et al., 2023).

Por otro lado, existe una diferencia significativa entre los bioplásticos y la muestra control que obtuvo un valor de humedad de 3.74 %, debido a que el plástico procede de un polímero químico (hidrocarburos) basados en componentes del petróleo con carácter hidrofóbico mientras que, los bioplásticos elaborados parten de un material vegetal y al ser secadas pierde el agua, pero sin destruir las uniones moleculares formadas por el almidón gelatinizado (Zambrano et al., 2022).

Al desarrollar un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey se observó con valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) como se muestra en la tabla 4 no existe diferencias significativas entre los tratamientos, pero si con la muestra control, debido a la diferencia de compuestos del que proceden los bioplásticos y el plástico de uso convencional.

Tabla 4.

Porcentaje de humedad (H %) y materia seca (MS %) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.

TRATAMIENTOS	HUMEDAD (%)	MATERIA SECA (%)
T1	15.62 ± 0,13 a	81.39 ± 0,18 a
T2	16.25 ± 0,62 a	80.60 ± 0,88 a
T3	16.29 ± 0,83 a	80.26 ± 1.17 a
T4	15.48 ± 0,51 a	81.41 ± 0,73 a
T5	15.97 ± 0,53 a	80.99 ± 0.75 a
T6	16.29 ± 0,56 a	80.53 ± 0,80 a
Control	3.74 ± 1.00 b	96.11 ± 1,08 b

Los resultados mostrados son el valor medio y ± la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

En cuanto al contenido de materia seca se determinó en base a la metodología descrita por la A.O.A.C. donde se obtuvieron resultados de valores entre 80-82%, estos valores se encuentran relacionados con la humedad, puesto la materia seca representa los sólidos solubles (carbohidratos, minerales, entre otros) que quedan al eliminar el agua de los bioplásticos. Los resultados obtenidos en el estudio de (Vélez et al., 2021). sobre Almidones de cascara de yuca y papa para la producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto gelatinizante donde el contenido de materia seca es de 79.66 % muy similares a los obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, los resultados muestran diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al contenido de materia seca, siendo el tratamiento 4 (*10 % de harina de maíz negro (Zea mays L.) y 2.5 % de glicerol*) el que mostro un valor más alto entre los tratamientos de 81.41 %, esto puede estar relacionado al contenido nutricional (carbohidratos, grasas, minerales, entro otros) de la materia prima y es proporcional a la cantidad empleada en el desarrollo de los bioplásticos (Cornejo et al., 2020).

Los bioplásticos obtenidos mostraron una notable diferencia con la muestra control que obtuvo 96.11 %, como se muestra en la tabla 4. Esta variación se debe a los bioplásticos elaborados usando harina de maíz negro (*Zea mays* L.) poseen compuestos como carbohidratos, minerales, entre otros, que a pesar de pasar por un proceso de secado no son evaporados y permanecen en la estructura del bioplástico (Salazar & Sobrado, 2019). Mientras que, la estructura del plástico usado como control parte de un polímero químico compuesto por hidrocarburos que posee mínimas cantidades moleculares de agua (Montes et al., 2017).

Además, el análisis estadístico basado en la prueba de Tukey se observó con un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) (tabla 4) no existe diferencias significativas entre los tratamientos, pero si con la muestra control, debido a la diferencia de compuestos del que proceden los bioplásticos y el plástico de uso convencional.

3.2.2 Espesor de los bioplásticos

El análisis de espesor de los bioplásticos se desarrolló en 15 secciones diferentes de las muestras con un micrómetro manual de 0 – 25 mm como se observa en la figura 4, donde se obtuvo valores de entre 0.51 y 0.53 mm (tabla 5). Esta característica de espesor se debe a que la harina de maíz negro cuenta con un alto contenido de almidón y su afinidad con el agua permite desarrollar una mayor interacción molecular dando lugar a los bioplásticos y es proporcional a la cantidad de harina empleada (Palma et al., 2017).



Figura 4. Análisis de espesor del bioplástico de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol. **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Según el estudio realizado por **Ocaña, (2020)** sobre comparación de solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de *Musa Acuminata* y *Zea mays* donde se obtuvo valores de espesor de 0.15 mm a 0.27 mm, siendo este valor menor a los obtenidos en el presente estudio, sin embargo, este valor puede estar asociado a la variación del porcentaje de harina el cual aumenta el grado de gelatinización y formación de la red polimérica (**Vélez et al., 2021**).

Tabla 5.

*Valores de espesor (mm) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y muestra control.*

TRATAMIENTOS	ESPESOR (mm)
T1	0.51 ± 0.00 a
T2	0.51 ± 0.00 a
T3	0.51 ± 0.00 a
T4	0.52 ± 0.00 a
T5	0.52 ± 0.00 a
T6	0.53 ± 0.01 a
Control	0.03 ± 0.00 b

Los resultados mostrados son el valor medio y \pm la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Por otro lado, los resultados obtenidos durante el análisis muestran que existen diferencias entre los tratamientos con respecto al espesor, siendo el tratamiento 4 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2.5 % de glicerol) el que presenta un valor intermedio aceptable de espesor de 0.52 mm, entre el tratamiento 6 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 7.5 % de glicerol) que es demasiado grueso y poco maleable y el tratamiento 1 (5 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2.5 % de glicerol) el cual es demasiado fino y este último se puede romper con facilidad.

Los bioplásticos obtenidos en este estudio muestran una notable diferencia con la muestra control donde se obtuvo un resultado de 0.03 mm, debido a que son fabricados a partir de compuestos hidrocarburíferos con altos estándares de calidad. Además, su espesor radica en la funcionalidad a cumplir con normativa, puesto que es un producto que ya se encuentra presente en el mercado (NTE-INEN 2542, 2010).

Finalmente, el análisis estadístico basado en la prueba de Tukey menciona un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, el estudio demostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos y el control debido a que el plástico convencional debe cumplir con estándares de calidad para reducir al máximo los costos de producción y costos de venta al público volviéndolos un material de uso común (Vélez et al., 2021).

3.3 Propiedades Mecánicas

3.3.1 Punción

Para el análisis de punción se usó un texturómetro (*Broolfield CT3 10K*), como se muestra en la figura 5, cuyas unidades de fuerza son Newtons (N) donde se midió el porcentaje de deformación. Durante el análisis se obtuvo valores de 23.41 a 0.51 N, respectivamente como se muestra en la tabla 6. Esta característica puede estar asociada a la plasticidad generada por el glicerol, el cual contribuye en la concatenación de los enlaces moleculares y la influencia por la humedad (%H) propia de los bioplásticos proporcionando menor rigidez sin romper la estructura del bioplástico (Vélez et al., 2021).

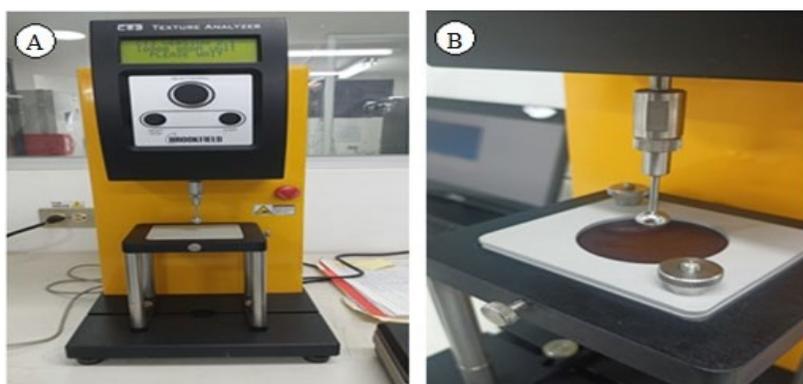


Figura 5. Análisis de punción de bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol; A: texturómetro; B: prueba de punción del T1 (5% de harina y 2.5% glicerol) **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Datos similares se obtuvieron en el estudio sobre formulación y caracterización de una biopelícula de almidón de maíz morado para embalaje de alimentos, donde se obtuvo un valor de esfuerzo máximo de entre 2,56 N y 15.66 N. Los bioplásticos elaborados tienen una resistencia menor debido a que los puentes de hidrogeno formados por las moléculas de agua y almidón generando una película un tanto rígida (Erazo, 2021) .

Tabla 6.

Cantidad de fuerza (N) para romper los bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.

TRATAMIENTOS	FUERZA (N)
T1	1.87 ± 0,27 a
T2	2.05 ± 0,86 ab
T3	0.61 ± 0,14 ab
T4	24.10 ± 0,97 ac
T5	15.45 ± 0,33 a
T6	4.65 ± 0,86 ab
Control	31.95 ± 0,61 c

Los resultados mostrados son el valor medio y \pm la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

En los resultados obtenidos se identificó que existe una diferencia significativa evidente entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento 4 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2.5 % de glicerol) mostro un valor 24.10 N mayor al resto de tratamientos como se muestra en la tabla 6 siendo el mejor tratamiento, debido a que el contenido de glicerol genera una mayor formación de enlaces en la red polimérica generando gran elasticidad (Niño et al., 2018).

Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis muestran que existen diferencias entre los tratamientos y el control que obtuvo un resultado de 31.95 N debido a que los plásticos parten de hidrocarburos que presentan características de elasticidad y mayor fuerza de deformación, el valor obtenido se relaciona a que el bioplástico genera una resistencia a la deformación y luego se rompe generando una perforación en las muestras, mientras que el control al ser polietileno de baja densidad (PEBD) genera una elasticidad propia del plástico, es decir, el plástico se estiro hasta su punto máximo de elongación hasta romperse (Enríquez et al., 2012).

Al realizar un estudio estadístico de tipo Tukey los resultados determinaron que a un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$), si existe diferencia significativa entre los tratamientos, donde el tratamiento cuatro (10 g harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2,5 g de glicerol) tiene mayor resistencia al esfuerzo máximo de rotura proporcionado por el equipo, esto puede estar atribuido a la consistencia del bioplástico puesto que el almidón unido al glicerol genera un aumento en la rigidez del bioplástico (Vélez et al., 2021).

3.3.2 Permeabilidad de vapor de agua (PVA)

El porcentaje de permeabilidad se obtuvo mediante la metodología detallada por Ifuku et al, (2007), como se muestra en la figura 6. Los valores obtenidos en los bioplásticos se encuentran entre $0.91E-06$ [$\text{g mm h}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Pa}^{-1}$] y $1,28E-06$ [$\text{g mm h}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Pa}^{-1}$] como se muestra en la tabla 7, esta característica puede estar asociada a la afinidad del agua en los componentes del bioplástico, puesto que el plastificante permite obtener una mayor movilidad de la red polimérica y es proporcional a la cantidad de carbohidrato (harina) empleada (Vélez et al., 2021).

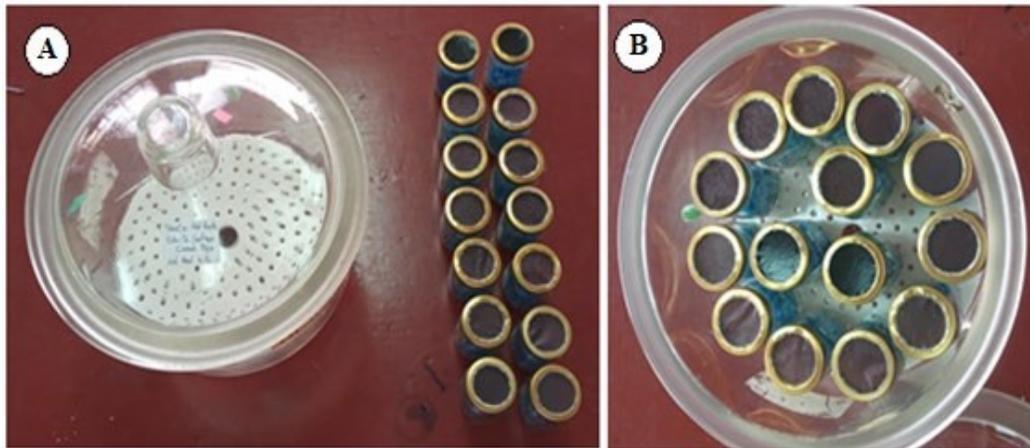


Figura 6. *Análisis de permeabilidad al vapor de agua de bioplástico a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol; A: estructura del sistema; B: medición de permeabilidad al vapor de agua* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Según Palma et al., (2017) en su estudio sobre caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche donde se obtuvo valores de 1.16 a $1.32 \text{ E-6}[\text{g mm h}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Pa}^{-1}]$ siendo estos valores superiores a los obtenidos en los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays L.*). Los valores bajos en las muestras del presente estudio pueden estar relacionados con la naturaleza de la materia prima, donde su interacción de moléculas y movilidad permiten que se genere un mayor control del paso de vapor de agua (Cornejo et al., 2020).

Tabla 7.

Permeabilidad de vapor de agua (PVA) [g mm h⁻¹ cm⁻² Pa⁻¹] de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.

TRATAMIENTOS	PVA [g mm h ⁻¹ cm ⁻² Pa ⁻¹]
T1	1.17E-06 ± 0.03 a
T2	1.12E-06 ± 0.03 a
T3	1.28E-06 ± 0.03 a
T4	0.91E-06 ± 0.02 ab
T5	1.02E-06 ± 0.03 a
T6	0.94E-06 ± 0.02 ab
Control	0.00E-06 ± 0.00 c

Los resultados mostrados son el valor medio y ± la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Por otro lado, los resultados muestran valores altamente diferentes entre los tratamientos como se muestra en la figura 7, sin embargo, el tratamiento 4 mostro un valor 0.91 E-06 [g mm h⁻¹ cm⁻² Pa⁻¹] menor al resto de tratamientos como se muestra en la tabla 7. Este valor se puede encontrar relacionado a la adición del plastificante, el cual mejora las interacciones moleculares y la movilización de las moléculas cerrando espacios existentes entre ellos (Palma et al., 2017).

Los resultados obtenidos del análisis mostraron que existe una diferencia numérica los tratamientos y la muestra control que obtuvo un valor de 0 [g mm h⁻¹ cm⁻² Pa⁻¹] como se muestra en la figura 7, este valor hacer referencia a que el plástico posee hidrocarburos y resinas en su composición que inhiben el intercambio de gases provocando daños en los productos que requieren de este proceso (NTE-INEN 2542, 2010). En la siguiente página se muestra la figura 7 donde se observan los valores lineales por tratamiento en ganancia de peso vs el tiempo. Además, se muestra los valores de correlación (R^2).

En todos los bioplásticos se puede observar una tendencia lineal directamente proporcional a la ganancia de peso en relación al tiempo. Es importantes indicar que el control no permite el paso de vapor de agua por ende se observa una línea recta. En relación a los bioplásticos obtenidos es una gran ventaja que permitan el paso de gases con respecto al control que no lo hace, esta particularidad permitiría mencionar que los bioplásticos si son aplicados como embalaje en los alimentos, estos generan la respiración del alimento, lo que no ocurre con el plástico sintético.

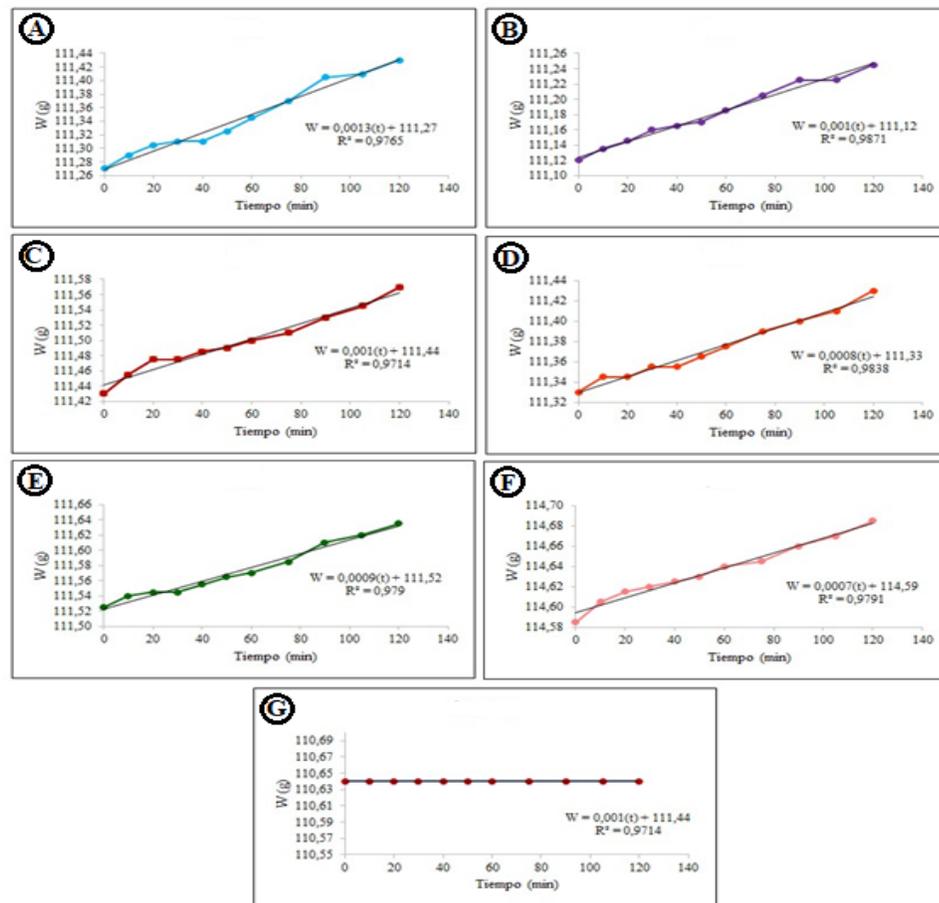


Figura 7. Variación de peso vs tiempo en el análisis de permeabilidad al vapor de agua (PVA) del bioplástico de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y control; A: (5% de harina y 2.5% glicerol); B: (5% de harina y 5% glicerol); C: (5% de harina y 7.5% glicerol); D: (10% de harina y 2.5% glicerol); E: (10% de harina y 5% glicerol); F: (10% de harina y 7.5% glicerol) y G: (funda plástica negra (PEBD)) **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Se desarrollo un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey donde los resultados obtenidos a un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) determinaron que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos y el control, alegando que los tratamientos no son iguales. Los datos demuestran que el tratamiento 4 resulta ser el mejor tratamiento debido a su bajo porcentaje de permeabilidad similar a los plásticos convencionales. Su similitud radica en que los bioplásticos al contener glicerol genera un movimiento molecular provocando espacios intermoleculares que permiten el intercambio de gases, característica que no logan los plásticos sintéticos debido a que evitan completamente el paso de gases por su estructura molecular (Chico & Sampedro, 2022).

3.3.3 Solubilidad de los Bioplásticos (%S)

El análisis de solubilidad en los bioplásticos es de vital importancia debido a permite medir la cantidad de agua absorbida por los tratamientos y su afinidad por el agua (Palma et al., 2017). Los datos obtenidos al realizar los análisis muestran una disminución de peso como se muestra en la figura 8 donde los tratamientos poseen un porcentaje de solubilidad de entre 9.79 a 18.85 % como se muestra en la tabla 8.

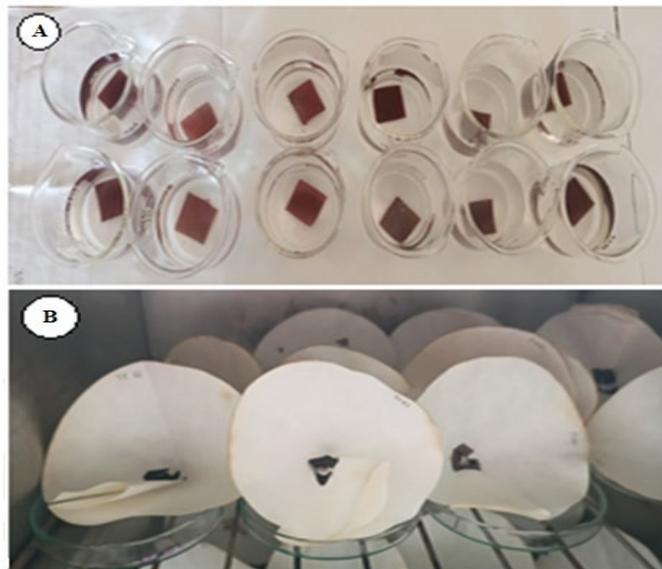


Figura 8. *Análisis de Solubilidad (S) del bioplástico de harina de maíz negro (Zea mays L.) y control; A: muestras sumergidas en agua destilada; B: muestras filtradas y secadas.*

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Estos valores pueden estar relacionados con la afinidad hidrofílica por el agua que presenta la harina de maíz negro (*Zea mays* L.), sin embargo, a pesar de que el glicerol genera rigidez en los bioplásticos también genera una gran afinidad por el agua provocando una rehidratación del plástico y rotura de las redes poliméricas (Salinas et al., 2021). Además, durante el análisis se identificó que las muestras generaron un cambio de coloración en el agua y dilución de la muestra, donde existe rotura en los enlaces del bioplástico y uniones con el agua mediante puentes de hidrogeno sin perder los pigmentos de la materia prima (Bhushan et al., 2023).

Según Montoya et al., (2021) en su estudio sobre la formulación y propiedades un biopolímero de recubrimiento para semillas de maní donde se obtuvo un valor de 5.70 %, este valor se encuentra muy por debajo de los obtenidos en la presente investigación, esto se debe a que las semillas de maní cuentan con aceites en su composición generando un efecto hidrofóbico, mientras que el maíz presenta afinidad hidrofílica generando una degradación del almidón (Palma et al., 2017).

Tabla 8.

*Porcentaje de Solubilidad (% S) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y muestra control.*

TRATAMIENTOS	SOLUBILIDAD (%)
T1	9.79 ± 0.06 b
T2	11.17 ± 0.58 b
T3	15.03 ± 0.08 ab
T4	14.33 ± 0.44 ab
T5	13.29 ± 0.04 b
T6	18.85 ± 0.07 c
Control	2.85 ± 0.04 d

Los resultados mostrados son el valor medio y ± la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Por otro lado, los resultados mostraron valores con diferencias evidentes, entre los tratamientos como se muestra en la tabla 8, sin embargo, el tratamiento 1 (5 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 2.5% glicerol) mostro el menor valor de solubilidad, este valor se encuentra relacionado la composición de los bioplásticos (cantidad de harina y glicerol) y su afinidad por el agua, sin embargo, al generar los bioplásticos se adiciona glicerol como plastificante natural el cual genera una mayor a la absorción de agua, debilitando al máximo las uniones moleculares de los bioplásticos (Vizúete et al., 2020).

Los resultados obtenidos se compararon con la muestra control que presento un valor de 2,85 % como se muestra en la tabla 8. Los bioplásticos elaborados a partir de harina de maíz negro proceden de una matriz vegetal, generando que el almidón tenga una mayor afinidad por el agua, que los mismos hidrocarburos presentes en el plástico convencional usado como muestra control (Holguín, 2019).

Se desarrollo un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey donde los resultados obtenidos a un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) determinaron que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos y el control, alegando que los tratamientos no son iguales. Los datos demuestran que el tratamiento 1 resulta ser el mejor tratamiento debido a su bajo porcentaje de solubilidad, debido a que la variación en la cantidad de harina y glicerol afecta al porcentaje de solubilidad de estos bioplásticos (Vélez et al., 2021).

3.3.4 Resistencia al agua

La resistencia al agua presentada por los bioplásticos obtenidos se muestra en la figura 9. Los resultados obtenidos muestran el tiempo de la medición (h), elongación (cm), filtración de agua (ml) y el tiempo de rotura de los bioplásticos y la muestra control se observó en la tabla 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

Los valores están entre 24 y 48 horas de tiempo de rotura debido a que los bioplásticos en su composición contienen harina y glicerol que en combinación generan una mayor afinidad deformando la molécula generando una resistencia menor, que es inversamente proporcional a la composición de los bioplásticos (Macías et al., 2023).

Por otro lado, Erazo (2021), en su estudio mostro un valor de resistencia al agua de 11.67 horas como punto máximo de rotura, siendo este valor muy por debajo de los obtenidos en el presente estudio. Esta característica se encuentra asociada a que los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) que muestran una mayor resistencia al agua debido a la composición de cada tratamiento y el espesor que posee. La característica de afinidad de la solución filmogénica por el agua permite una menor resistencia mediante la destrucción de la red filmogénica y unión de las moléculas de almidón con el agua a través de puentes de hidrogeno (Salinas et al., 2021).

Es decir, los bioplásticos tienen poca resistencia al agua con respecto a los plásticos sintéticos. Aun así, abre nuevas brechas de investigación con respecto a los bioplásticos y en algún futuro encontrar una cohesión entre el agua y un excelente bioplástico.



Figura 9. *Análisis de resistencia al agua del bioplástico de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y control; A: preparación de muestras iniciales; B: punto de rotura de los bioplásticos después de 48 horas. Elaborado por: María Belén Vargas V.*

Tabla 9.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T1) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (2.5 %).

Tiempo (h)	0,23	1,31	8,5	24	47
Elongación (cm)	0,1 ± 0,04	0,3 ± 0,04	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,02	0,50 ± 0,02
Filtración de agua (ml)			18		
Tempo de rotura (h)			47		

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 10.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T2) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (5 %).

Tiempo (h)	0,18	1,25	7,52	24	46
Elongación (cm)	0,1 ± 0,04	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,04	0,3 ± 0,04	0,3 ± 0,06
Filtración de agua (ml)			21		
Tempo de rotura (h)			46		

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 11.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T3) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (5 %) y glicerol (7.5 %).

Tiempo (h)	0,14	1,05	7,1	24
Elongación (cm)	0,2 ± 0,07	0,3 ± 0,06	0,3 ± 0,07	0,4 ± 0,04
Filtración de agua (ml)			26	
Tempo de rotura (h)			25	

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 12.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T4) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (2.5 %).

Tiempo (h)	0,16	0,56	6,98	24	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0,07	0,2 ± 0,07	0,2 ± 0,05	0,4 ± 0,06	0,4 ± 0,05
Filtración de agua (ml)			17		
Tempo de rotura (h)			48		

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 13.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T5) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (5 %).

Tiempo (h)	0,12	0,52	6,47	24	45
Elongación (cm)	0,1 ± 0,05	0,2 ± 0,04	0,3 ± 0,04	0,3 ± 0,06	0,5 ± 0,03
Filtración de agua (ml)			22		
Tempo de rotura (h)			45		

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 14.

Resistencia al agua de bioplásticos degradables (T6) a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) (10 %) y glicerol (7.5 %).

Tiempo (h)	0,09	0,48	5,96	24
Elongación (cm)	0,2 ± 0,07	0,3 ± 0,06	0,3 ± 0,06	0,4 ± 0,06
Filtración de agua (ml)			25	
Tempo de rotura (h)			24	

Elaborado por: María Belén Vargas V.

Tabla 15.

Resistencia al agua de un plástico PEBD de color negro (Control).

Tiempo (h)	3	6	8	24	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0,04	0,1 ± 0,04	0,1 ± 0,03	0,2 ± 0,06	0,2 ± 0,07
Filtración de agua (ml)			0		
Tempo de rotura (h)			Irrompible		

Elaborado por: María Belén Vargas V.

La relación entre tratamientos del análisis realizado muestra diferencias en el tiempo de rotura de los bioplásticos siendo el tiempo máximo de 48 horas, esta característica se atribuye a la composición de los bioplásticos, debido a sus características vegetales siendo el tratamiento 6 (10 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 7.5 % de glicerol) el menos resistente con un tiempo de rotura de 23 horas, por la afinidad al agua dentro de su composición (Cornejo et al., 2020).

El control al ser un plástico de uso convencional tiene una mayor resistencia al agua por su composición y característica hidrofóbica, donde durante el análisis no presento. Los datos demuestran que el tratamiento 4 resulta ser el mejor tratamiento debido a que permite una menor filtración de agua, es decir tiene buena resistencia del agua.

3.4 Propiedades Ópticas

3.4.1 Color

La característica de color es muy importante en los bioplásticos debido a que esta contribuye en la identificación del uso al que se encuentra destinado el bioplástico mejorando la gestión de los residuos, empaques alimentarios o usos agroindustriales (Salinas et al., 2021). Se desarrollo el análisis de color de los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) mediante un colorímetro (*Lovibond, LC 100*), del cual se obtuvo resultados del color exacto de cada tratamiento y del control. Los parámetros determinados se basan en las coordenadas de tonalidad rojo/verde (a^*), coordenadas de tonalidad amarillo/azul (b^*), luminosidad del bioplástico (L^*), diferencia total de color

(ΔE), valor de saturación o intensidad de color (c^*) y tonalidad (h^*) de la escala CIE, como se observa en la figura 10.

Esta propiedad se debe a que el grano posee un pigmento en altas cantidades de antocianina (cianidina-3- β -glucosa) pertenecientes a los bioflavonoides, dando una tonalidad de rojo-azulado con un valor aproximado de 1052.6 mg/100 g del agente antioxidante natural (Agama et al., 2005). Estudios relacionan a la antocianina como un agente anticancerígeno (presencia en el flujo sanguíneo radicales libres) por sus características antioxidantes y compuestos bioactivos (Bello et al., 2016). La cantidad de colorante natural depende de diversas características de nutrición y crecimiento de la planta, sin embargo, estudios muestran que existe un aproximado de 1.5 - 6 % de antocianinas (Guillén et al., 2014).

La luminosidad (L^*) de los bioplásticos se ve reflejada en valores entre 23.20 y 43.03, mientras que el control obtuvo un valor de 13.30 teniendo en cuenta que este parámetro refleja la coordenada de tonalidad blanco y negro de 0 a 100. Los resultados también reflejan que los diferentes tratamientos son más luminosos que el control, permitiendo que se refleje la luz a través de ellos (Piñeiro et al., 2014). En cuanto a la tonalidad rojo/verde (a^*) se observó valores entre 67 y 230 en relación al control que obtuvo un valor de 0, debido a que al ser valores positivos existe una tendencia de tonalidad más rojiza en los bioplásticos elaborados característica propia de los pigmentos (antocianinas) presentes en la materia prima, a diferencia del control el cual muestra tendencia casi neutral entre las tonalidades rojo y verde (Salinas et al., 2021).

Por otro lado, la tonalidad amarilla/azul mostró valores de entre 0,80 y 10,30 mientras que la muestra control obtuvo un valor de -0,50; lo que significa que en los bioplásticos existe una tendencia al color amarillo, tonalidad que en combinación con el rojo tienden a ser de tono morado rojizo característico de algunas variedades de maíz negro, mientras que en el control se refleja una muy ligera tonalidad azul imperceptible a simple vista por su color negro (Enríquez et al., 2012).

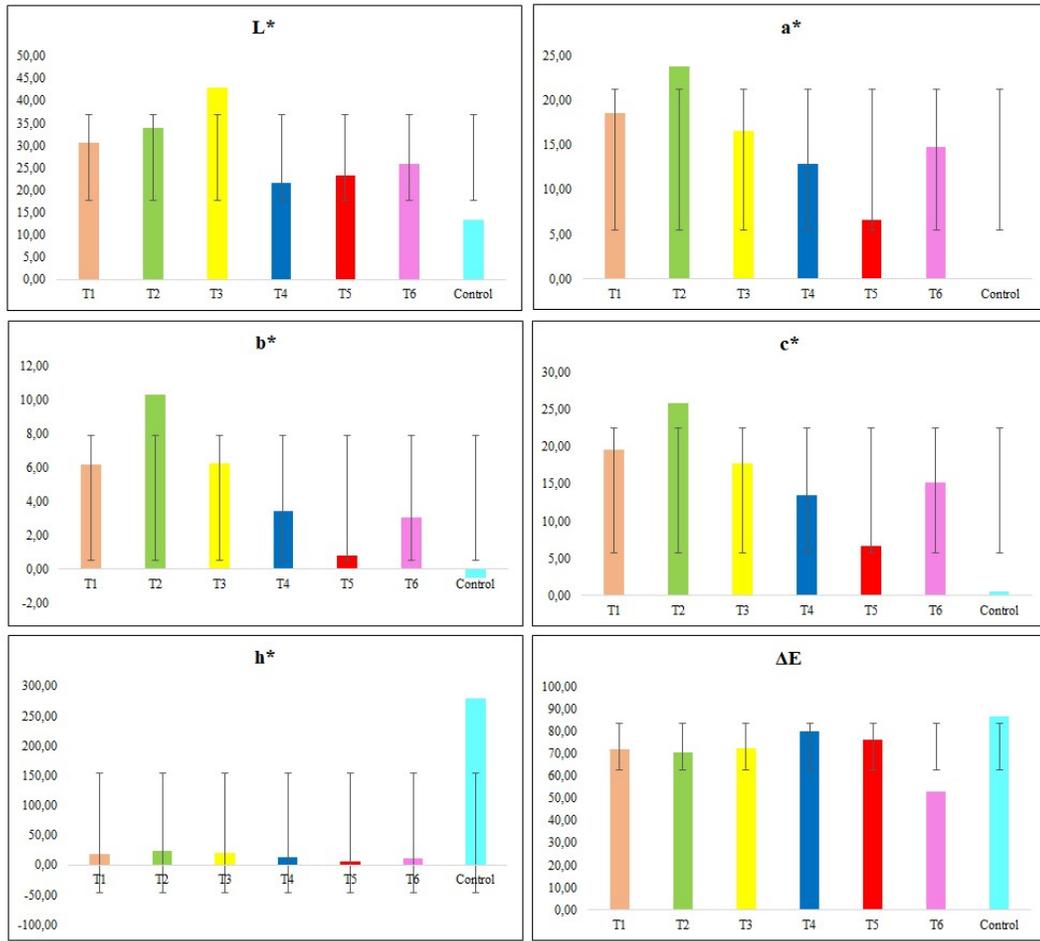


Figura 10. Índice de color del bioplástico de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y el control; L^* (Luminosidad del bioplástico); a^* (coordenadas de tonalidad rojo/verde); b^* (coordenadas de tonalidad amarillo/azul); c^* (saturación o intensidad de color); h^* (tonalidad) y ΔE (variación total del color). **Elaborado por:** María Belén Vargas

El parámetro de intensidad de color, saturación (c^*) o valor Croma (0 a 100) analizado en los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) mostró valores de entre 6,63 y 25,90 teniendo en cuenta que este parámetro indica si el color es atenuado o brillante, sin embargo, el control genera un resultado de 0,50. El parámetro muestra que los bioplásticos poseen mayor brillo por ende mayor intensidad de color con respecto al control, debido a que existe una mayor absorción de luz por parte de los distintos tratamientos, generando una proporcionalidad entre el brillo y la absorción de luz (Piñeiro et al., 2014).

Además, la característica de tonalidad (h^*) o valor de *Hue* (0 a 360°) en los bioplásticos se encuentra entre 6,70 y 20,60 mientras que el control obtuvo un valor de 280.27, debido a que al ser tonalidades diferentes los bioplásticos generan un ángulo de refracción mayor que el control, alegando la oscuridad del mismo y procurando una mayor absorción de luz (Salinas et al., 2021).

Finalmente, se determinó la variación total de color (ΔE) que representa la diferencia de color en las tres coordenadas (L^* , a^* y b^*) donde los bioplásticos obtuvieron valores entre 52,87 y 79,77 en relación al control que obtuvo un resultado de 86,70. Este parámetro representa la tolerancia de color simbolizando la aceptación o rechazo de un color por parte de los usuarios o clientes en diversos productos, lo que en los bioplásticos se evidencia un rango aceptable de color morado proporcionado por las antocianinas presentes en la harina de maíz negro (*Zea mays* L.) además están potenciados o activados con el agua y glicerol generando un realce de color (Vizueté et al., 2020).

Por último, mediante un análisis de Tukey se determinó que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos, debido a que los tratamientos (T1, T2 y T3) presentan tonalidades de color más claras por que poseen menor cantidad de harina, mientras que los tratamientos (T4, T5, T6) son de tonalidad más oscura por el aumento de harina en su composición. Sin embargo, también existe una diferencia significativa entre los tratamientos y el control debido a que existe colorantes artificiales en los plásticos convencionales que dificultan el proceso de reciclaje mientras que los pigmentos naturales contribuyen en otras características como antioxidantes (Parra et al., 2022).

3.4.2 Barreras de luz y transparencia (UV-VIS)

El análisis de barrera de luz y transparencia de los bioplásticos se llevó a cabo mediante un espectrofotómetro UV - VIS (Infitek *SP – LUV759*) como se muestra en la figura 11; donde se obtuvo valores de absorbancia a través de un rango de longitud de onda de los puntos máximos de absorción de luz y a su vez se desarrolló una ecuación para

obtener los valores del porcentaje de transparencia como se muestra en la tabla 16. Los valores obtenidos en los diferentes tratamientos se encuentran entre 0,24 y 1,87, estos valores pueden estar asociados al proceso de absorción de luz de la matriz polimérica propia del bioplástico.

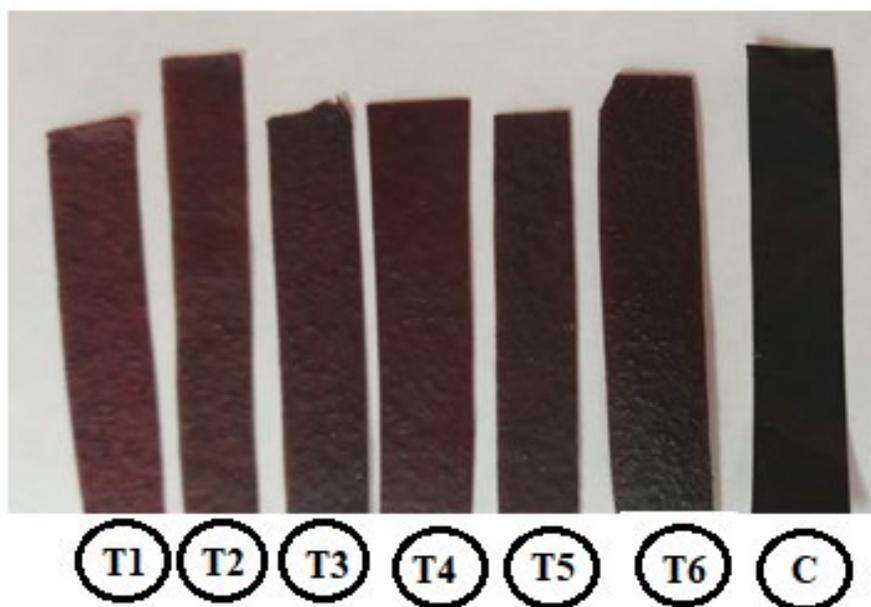


Figura 11. *Análisis de barrera de luz y transparencia de bioplásticos a partir de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol.*

Los resultados del porcentaje de transparencia que se identificó en los estudios similares mostrados por Rubio et al., (2020) sobre influencia de la temperatura de moldeo de bioplásticos a base de proteína de soja y guisante, donde se obtuvo valores de 11.58 % debido a que no existen pigmentos oscuros en la muestra lo que ocasiona un mayor paso de luz a través de los bioplásticos, siendo un producto casi transparente con tonalidad clara (Bhushan et al., 2023).

Tabla 16.

Porcentaje de transparencia (T %) de bioplásticos a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.) y muestra control.

TRATAMIENTOS	TRANSPARENCIA (%)
T1	0.26 ± 0.003 c
T2	1.87 ± 0.007 a
T3	1.67 ± 0.015 b
T4	1.85 ± 0.017 a
T5	0.24 ± 0.001 c
T6	0.36 ± 0.001 c
Control	0.64 ± 0.003 d

Los resultados mostrados son el valor medio y \pm la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Los resultados obtenidos entre tratamientos se muestran reflejados en la tabla 16, siendo diferentes entre, sin embargo, el tratamiento 2 (5 % de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y 5% de glicerol) mostró un valor mayor 1.87 %T, debido a que la variación en la cantidad de materia prima matiza los colores y es proporcional a la cantidad de pigmentos procedentes de la materia prima (Mueller et al., 2023). Por otro lado, los bioplásticos obtenidos en relación con el control mostró un valor de 0.64% debido a que este factor va de la mano con el índice de color, influenciado por la absorción de luz o la cantidad de luz que atraviesa el bioplástico, siendo este más transparente (Macías et al., 2023).

Con la ayuda de un análisis estadístico a través de la prueba de Tukey, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos debido a que el valor de transparencia aumenta en relación al contenido de glicerol que existe en su composición. El glicerol es considerado como un agente que realza el porcentaje de transparencia en los bioplásticos debido a sus cualidades el paso de luz a través de ellos, lo que la muestra control al ser un plástico convencional posee menos uniones moleculares donde no existe un valor de transparencia alto por la composición con hidrocarburos hidrofóbicos y el tipo de espesor que este tiene (Cornejo et al., 2020).

3.4.3 Biodegradación

La degradación de los bioplásticos es de vital importancia para determinar el impacto ambiental generado por estos productos procurando mejorar los recursos naturales (aire, agua, suelo) y preservar la vida del planeta (Zambrano et al., 2022). Para el desarrollo de este análisis es importante tomar en cuenta las características iniciales del suelo como se muestra en la figura 12, las características analizadas fueron el pH, %humedad y contenido de nitrógeno total como se muestra en la tabla 17.

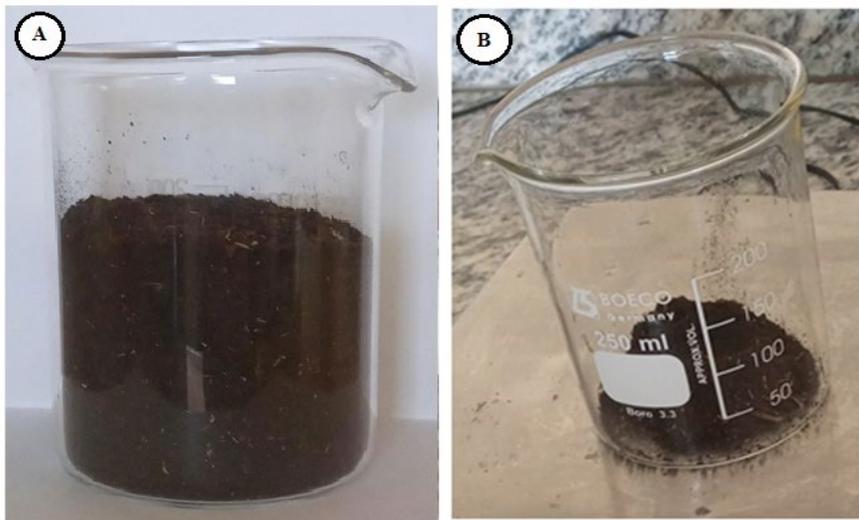


Figura 12. Muestra de suelo para análisis de caracterización inicial; *A: muestra de suelo para análisis de nitrógeno; B: muestra de suelo para análisis de pH.* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

Tabla 17.

Caracterización inicial del suelo para análisis de biodegradación.

MUESTRA	Humedad (%H)	pH	UFC/g suelo ($\times 10^6$)	Contenido de Nitrógeno (%)
Suelo	23.10	6.44	6.10	0.34

Elaborado por: LACONAL, (2023); Anexos 1

3.4.4 Ensayo de enterrado

Para el desarrollo de este análisis se utilizó tierra previamente caracterizada a condiciones ambientales, donde se colocó en macetas plásticas, y se agrega una capa de tierra fértil aproximadamente la mitad del recipiente, seguido a ello se coloca una malla fina y la muestra del bioplástico por cada tratamiento y luego se coloca la tierra para cubrir la muestra (similar a un sandwich), hasta llenar el recipiente y el experimento de enterrado inicia durante 30 días a condiciones ambientales de luz, humedad, oscuridad, simulación de llovizna durante el proceso como se muestra en la figura 13. El análisis desarrollado fue por duplicado, para cada tratamiento y el control, durante este proceso se observó cambios físicos notorios en las muestras de los bioplásticos como se muestra en la figura 14.

Los resultados muestran que si existe degradación de los bioplásticos obtenidos a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) debido a que presenta cambios en la coloración, textura, rigidez, entre otros aspectos, sin embargo, resultados similares se obtuvieron en un estudio basado en la formulación y caracterización de biopelículas de almidón de maíz morado para embalaje de alimentos, donde se determinó un tiempo de degradabilidad de 56 días, pero el análisis del tiempo de biodegradación depende mucho de la calidad del suelo usado y composición de materia prima (Erazo, 2021).

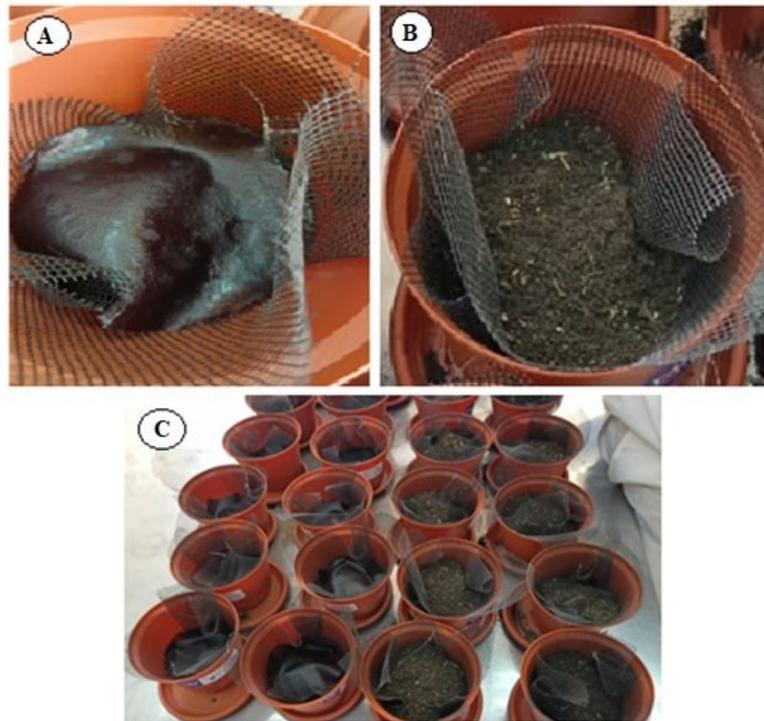


Figura 13. Procedimiento del análisis de enterrado de los tratamientos y el control; *A: maceta con tierra de fondo, malla y la muestra del bioplástico; B: muestra del bioplástico completamente enterrada; C: macetas para el análisis de biodegradación.* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

La figura 14 muestra el proceso de degradación de los bioplásticos y el control en los días 0, 5, 15, 25, 30, sin embargo, desde el día 15 de análisis se observa un deterioro notable en los bioplásticos ya que al ser una matriz vegetal y encontrarse conformada de carbohidratos, azúcares, entre otros generan nutrientes al suelo. Los microorganismos presentes en el mismo empiezan a digerir los bioplásticos, sin embargo, la composición del almidón (amilosa y amilopectina) permiten una mayor absorción de agua colocada en condiciones de llovizna lo que facilita que los bioplásticos presenten mayor disponibilidad para alimentar a los microorganismos y contribuir a la degradación de las muestras.

Por otro lado, el control no mostro descomposición durante el análisis como se muestra en la figura 14, es decir que los polímeros a partir de hidrocarburos no se descomponen en el suelo a corto plazo, generando una contaminación en los suelos donde se encuentran enterrados y en el caso de encontrarse en plantaciones el agua arrastra los plásticos (enteros o parte de ellos) generando una mayor área de contaminación (Palma et al., 2017). Es importante mencionar que los bioplásticos se biodegradan a los 15 días, mientras que el control no se biodegrado generando una fuente alta de contaminación ambiental.

La importancia de la obtención de bioplásticos se basa en la disminución del uso y producción de plásticos sintéticos debido al exceso de residuos que existe en el mundo, sin embargo, los bioplásticos provienen de fuentes naturales que son consideradas como un producto renovable y su descomposición no genera impacto ambiental negativo y cuenta con un reducido tiempo de degradación, mejorando la calidad del suelo, la salud de las personas y reduciendo la cantidad de desperdicios (Cornejo et al., 2020).

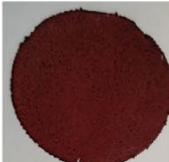
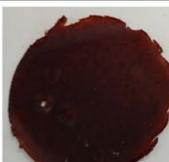
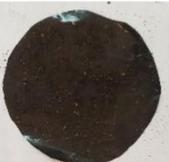
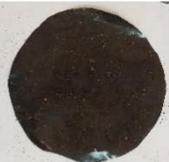
TIMEPO DE BIODEGRADACION					
Tratamientos	DIA 0	DIA 5	DIA 15	DIA 25	DIA 30
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
CONTROL					

Figura 14. Análisis de biodegradación de los bioplásticos y la muestra control durante 30 días.

Elaborado por: María Belén Vargas V.

3.4.5 Porcentaje de materia seca (%SS)

La determinación del porcentaje de materia seca o pérdida de peso en los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) se desarrolló al finalizar los 30 días de análisis (17 de noviembre – 18 de diciembre) donde se obtuvieron valores entre 20-80% con una reducción proporcional al tiempo como se muestra en la figura 15. Sin embargo, resultados similares se observaron en un estudio basado en la formulación y caracterización de biopelículas de almidón de maíz morado para embalaje de alimentos con porcentajes de 25-70%, esto se debe a las características iniciales del suelo usado, la composición del bioplástico y condiciones ambientales del proceso de biodegradación (Vizuite et al., 2020).

Por otro lado, los plásticos convencionales presentan un %SS de 95% con variaciones casi imperceptibles, la composición de los plásticos convencionales y los bioplásticos es notoria y generan diferentes procesos en el suelo, donde el bioplástico nutre al suelo disminuye el contenido de nitrógeno y el plástico convencional lo contamina a largo plazo (Parra et al., 2022). Además, el desarrollo de un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey determino que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del bioplástico, sin embargo, si existe una notable diferencia entre los tratamientos y el control, debido a que al estar compuesto de hidrocarburos hidrofóbicos generan una mayor retención de sólidos solubles en los plásticos de uso convencional y no se biodegradan (Parra et al., 2022).

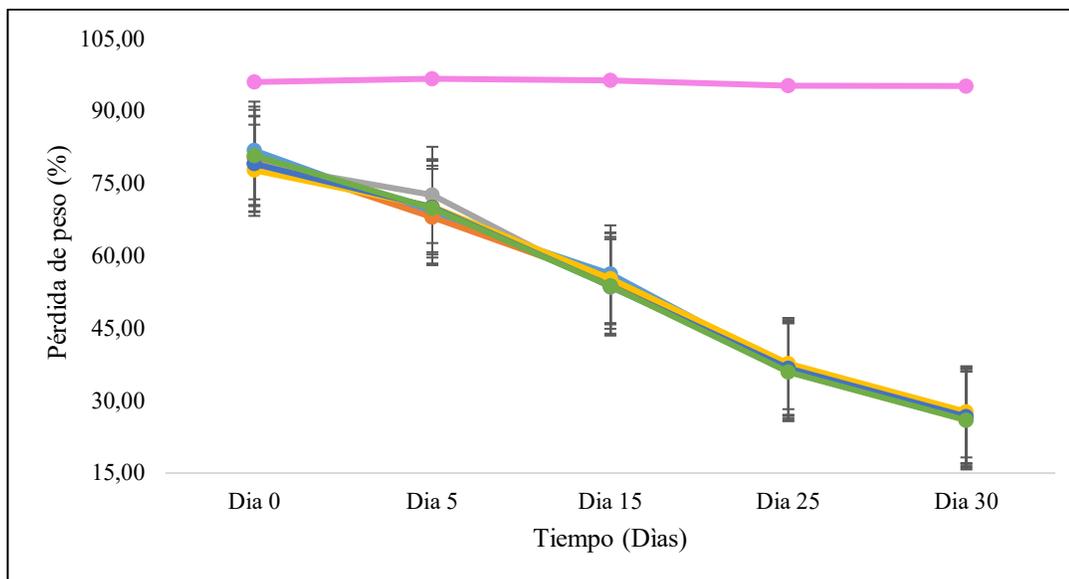


Figura 15. Análisis de pérdida de peso de los bioplásticos y la muestra control durante 30 días; T1 (Azul): (5% de harina y 2.5% glicerol); T2 (Naranja): (5% de harina y 5% glicerol); T3 (Plomo): (5% de harina y 7.5% glicerol); T4 (Amarillo): (10% de harina y 2.5% glicerol); T5 (Celeste): (10% de harina y 5% glicerol); T6 (Verde): (10% de harina y 7.5% glicerol) y Control (Rosado): (funda plástica negra (PEBD)). **Elaborado por:** María Belén Vargas V.

3.4.6 Contenido de nitrógeno total en el suelo

El contenido de nitrógeno es importante en un proceso de biodegradación puesto que es la referencia de que si existe un buen proceso de degradación inversamente proporcional a la cantidad de nitrógeno en el suelo (Cornejo et al., 2020). La determinación del porcentaje de nitrógeno total en el suelo se obtuvo de una muestra inicial (Día 0) y una muestra final después de haber transcurrido 30 días, como se muestra en la tabla 19. Los resultados obtenidos muestran una notable disminución de nitrógeno total en el suelo. Esta disminución puede estar asociada al proceso de degradación donde los microorganismos presentes en el suelo busquen generar un equilibrio entre el carbono y nitrógeno disponibles, lo cual conlleva a que el nitrógeno se vea consumido y se reduzca en el suelo para continuar con el proceso de descomposición (Erazo, 2021).

Tabla 19.

Contenido de nitrógeno inicial y final de bioplásticos degradables a partir de la harina de maíz negro (Zea mays L.).

MUESTRA	Nitrógeno Total Inicial (%)	Nitrógeno Total Final (%)
Suelo	0,338	0,256

Elaborado por: LACONAL, (2023); Anexos 1 y 2

Finalmente, se puede mencionar que el análisis de biodegradación de los bioplásticos es el punto clave del estudio, ya que se muestra que estos bioplásticos son una alternativa factible a una futura alternatividad en la sustitución de plásticos convencionales derivados del petróleo, lo que indicaría una significativa reducción en el impacto ambiental y también generaremos conciencia medioambiental y se aportaría significativamente a un futuro eco amigable.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La elaboración de bioplásticos degradables a partir de harina de maíz negro (*Zea mays* L.) y glicerol como plastificante presentaron buenas características de plastificación y maleabilidad basadas en la cantidad de harina y glicerol, además de una rigidez aparente que facilita el desmoldado del bioplástico sin provocar daños o grietas que afecten el desarrollo de la investigación.
- Los bioplásticos (T4) desarrollado a partir de (5 g de harina y 2.5 de glicerol) mostraron buenas características físicas (con un espesor de 0.5mm y %H del 16 %), mecánicas (Punción 26 N; Resistencia de 48 horas y permeabilidad de un 0.91E-06 [g mm h⁻¹ cm⁻² Pa⁻¹]) y ópticas (alta luminosidad, brillo y 1.85% de transparencia), siendo el mejor tratamiento comparados con las demás muestras.
- La estimación de la degradabilidad de los bioplásticos bajo condiciones controladas y de 30 días son óptimas puesto que existe un cambio en las características finales del suelo como disminución de nitrógeno y materia seca y ligeras variaciones en pH y microorganismos del suelo, volviendo al bioplástico funcional y una alternativa al uso de plásticos convencionales minimizando el impacto ambiental ya que se biodegradan en un tiempo no mayor a 15 días con respecto a los plásticos sintéticos que tardan algunos años.

Recomendaciones

- Las harinas comerciales no siempre cuentan con el mismo contenido de almidón o componentes nutricionales, por ello, es recomendable realizar una caracterización de la harina a usar previo al desarrollo investigativo, debido a que muchas de ellos varían su contenido de almidón, o contienen diferente capacidad de absorción de agua.
- El uso de aceites esenciales puede mejorar las características mecánicas debido a que aumentaría el valor de permeabilidad y generaría una mayor resistencia al agua, mediante su característica hidrofóbica.
- El desarrollo de bioplásticos se basa en el uso de harinas independientemente de la matriz vegetal que provenga y plastificantes naturales como el glicerol, para desarrollar análisis de biodegradación y además se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales debido a que el exceso de lluvia puede acelerar el proceso de biodegradación de los bioplásticos.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

- Acevedo, C. (2011). *Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional*.
- Acosta, R. (2009). Reseña EL CULTIVO DEL MAÍZ, SU ORIGEN Y CLASIFICACIÓN. EL MAIZ EN CUBA. *Scielo Cultivos Tropicales*, 30(2), 113–120. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf>
- Agama, E., Ottenhof, M., Farhat, I., Paredes, O., Ortíz, J., & Bello, L. (2005). AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍCES PIGMENTADOS. *Agrociencia*, 39, 419–429.
- Agrolab. (2005). *GUIA DE REFERENCIA PARA LA INTERPRETACION ANALISIS DE SUELOS*. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm>
- Alcivar, K. (2020). *Diagnóstico Del Uso De Plásticos No Reutilizables En Puestos De Expendio De Alimentos Informales En El Cantón Jipijapa*. [UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2399/1/TESIS%20FINAL-convertido%20pdf-%20Karen%20Alcivar.pdf>
- Alvarado, M. (2018). Elaboración de bloques de concreto con agregados plásticos reciclados. *Revista Informador Técnico*, 82(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.v82.n2.2018>
- Arandes, J. M., Bilbao, J., & López, D. (2004). RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. *Revista Iberoamericana*, 5(1), 28–45. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf](https://extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf)
- Arevalo, K., Aleman, M., Rojas, G., & Morales, L. (2010). *Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos* | *REVISTA*

- Barrientos, J. (2019, February 27). *Plástico: El desecho interminable, ¿jamás degradable?* - INVDES. <https://invdes.com.mx/los-investigadores/plastico-el-desecho-interminable-jamas-degradable/>
- Basave, E., Rosales, S., Sigala, J., Calixto, C., & Sarmiento, H. (2017). Morpho-physiological changes of *Prosopis laevigata*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(44). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63454707006>
- Bello, A., Camelo, G., Agama, E., & Utrilla, R. (2016). NUTRACEUTIC ASPECTS OF PIGMENTED MAIZE: DIGESTIBILITY OF CARBOHYDRATES AND ANTHOCYANINS. *SciELO: Agrociencia*, 50, 1041–1063. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n8/1405-3195-agro-50-08-1041-en.pdf>
- Caballero, M., Córdova, L., & López, A. (2019). VALIDACIÓN EMPÍRICA DE LA TEORÍA MULTICÉNTRICA DEL ORIGEN Y DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN MÉXICO. *SciELO: Revista Fitotécnica Mexicana*, 42(4), 357–366. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n4/0187-7380-rfm-42-04-00357.pdf](https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n4/0187-7380-rfm-42-04-00357.pdf)
- Chico, M., & Sampedro, T. (2022). Production of Bioplastic and their Applications as Food Packaging: PLA AND PHB. *Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 31–56. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/aci/article/download/1858/2271/5416>
- Coral, J., Andrade, H., Pumisacho, M., Caicedo, J., & Salazar, D. (2019). Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 11(17), 40–49. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1091>
- Crespo, R. J. (2002). *Uso del horno microondas para la obtención del valor de materia seca en especies forrajeras*. <https://www.researchgate.net/publication/267327330>

- Enríquez, M., Velasco, R., & Ortiz, V. (2012). COMPOSITION AND PROCESSING OF STARCH-BASED BIODEGRADABLE FILMS. *Scielo: Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf
- ENRÍQUEZ, M., VELASCO, R., & ORTIZ, V. (2012). PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000100021&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Erazo, H. (2021). *Formulación Y Caracterización de una Biopelícula a Partir de Almidón de Maíz Morado (Zea Mays L) Para el Embalaje de Alimentos*. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/16802/1/96T00714.pdf>
- Flores, P. (2020). The issue of plastic use during the Covid-19 pandemic. *South Sustainability*, e016. <https://doi.org/10.21142/ss-0102-2020-016>
- García, S. (2009). REFERENCIAS HISTÓRICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS PLÁSTICOS. *Rev. Iberoam. Polim*, 10(1), 71–80.
- Góngora, P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6–9. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf
- Guacho, E. (2014). *CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (Zea mays L.) DE LALOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf

- Guaminga, L. (2020). “*Obtención Y Caracterización Funcional De Harina Y Almidón De Maíz Negro (Zea Mays L.)*”. [UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6552/1/OBTENCI%C3%93N%20Y%20CARACTERIZACI%C3%93N%20FUNCIONAL%20DE%20HARINA%20Y%20ALMID%C3%93N%20DE%20MA%C3%8DZ%20NEGRO.pdf>
- Guillén, J., Mori, S., & Paucar, L. (2014). Characteristics and functional properties of purple corn (*Zea mays L.*) var. subnigroviolaceo. *SciELO: Scientia Agropecuaria*, 5, 211–217. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172014000400005&lang=en
- Holguín, J. (2019). *OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Ifuku, S., Nogi, M., Abe, K., Handa, K., Nakatsubo, F., & Yano, H. (2007). Surface Modification of Bacterial Cellulose Nanofibers for Property Enhancement of Optically Transparent Composites: Dependence on Acetyl-Group DS. *Biomacromolecules*, 8(6), 1973–1978. <https://doi.org/10.1021/bm070113b>
- INEC. (2018). Según la última estadística de información ambiental: Cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día. In *Instituto de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/>
- Macías, E., Anchundia, O., García, S., García, G., & Giler, S. (2023). OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF A BIOPLASTIC BASED ON COCONUT SHELL AND PAPAYA. *Revista Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(12), 79–92. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0105>
- Martínez, Y., García, M., & Martínez, E. (2014). Impacto ambiental de residuos industriales de aserrín y plástico. Usos para la industria de tablero en Cuba. *CIGET*

- Pinar Del Río*, 16(2). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/6378/637867046002.pdf
- Matriz, G., Fuentes, K., & León, G. (2015). Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado. *Scielo: Revista Colombiana de Ciencia Química y Farmacia*, 44(2), 189–207. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v44n2/v44n2a05.pdf>
- Melendez, M., Jose, V. /, & Melendez Villarreal, M. (2015). *ISO 14001*. www.iso.org
- Milán, J., Gutiérrez, R., Cuevas, E., Sánchez, L., & Rochín, J. (2017). BEBIDA FUNCIONAL CON POTENCIAL ANTIDIABÉTICO Y ANTIHIPERTENSIVO ELABORADA CON MAÍZ AZUL Y FRIJOL NEGRO BIOPROCESADOS. *Redalyc: Revista Fitotécnica Mexicana*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61054247009>
- Montes, A., Oropeza, R., Alberto, C., Pereira, P., Quesada, Y., Goering, L., & Castillo, E. (2017). Biodegradable films with bioactive properties. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 57–089. <https://sites.google.com/site/1rvcta>
- Moreno, G. (2015). *UTILIZACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (Musa balbisiana), EN EL DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES ACTIVAS*” [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11979>
- Ocaña, L. (2020). *Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de Musa acuminata y Zea mays*.
- Oropeza, R., Montes, A., Alberto, C., & Pereira, P. (2016a). Biodegradable films based on starch: mechanical/functional properties and biodegradation. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65–093. <https://sites.google.com/site/1rvcta>

- Oropeza, R., Montes, A., Alberto, C., & Pereira, P. (2016b). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65–093. <https://sites.google.com/site/1rvcta>
- Ortega, I. S. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica*, 7(2), 151–171. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content>
- Padilla, C., Arévalo, D., Bustamante, M., & Vidal, C. (2017). Responsabilidad Social Empresarial y Desempeño Financiero en la Industria del Plástico en Ecuador. *Informacion Tecnologica - Scielo*, 28(4), 93–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400012>
- Parra, H., Buele, D., Pachay, R., Huerta, L., & Riofrio, H. (2022). Definición de NAV e influencia de las biopelículas: una perspectiva breve de una problemática de las UCI. *Cien Ec*, 4(3), 1. <https://doi.org/10.23936/rce.v4i3.65>
- Peralta, M. (2022). *Elaboración de una línea de envueltos a partir del uso de la harina de maíz negro, cocina de autor*. [UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA DEL ECUADOR]. <http://repositorio.unibe.edu.ec/bitstream/handle/123456789/494/PERALTA%20ZUMBA%20MAURICIO%20SEBASTI%c3%81N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perdomo, G. (2002). PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. *Revista Iberoamericana Polímeros*, 3(2), 1–13. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59214400/REVISTA_SOBRE_PLASTICOS_20190511-120589-1ic8uu6-libre.pdf?1557596729=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRevista_Iberoamericana_Polimeros_Volumen.pdf&Expires=1696800711&Signature=g0-AoGel1uw8MUu05R1F3B1Iv-q~n8mz2zj6OX5jpyzK0q6OtFa7ahyvPZROEStnOgDCwxD9uaBz7ACNPl6KgY0K-ABWupxHgnoJ4Fll7ybjSuRDtF4bCmbovjGdXCO2D3dOwCQ56yPgWGeojumSSiIQS3IfIGUouWY65poSYm5rCChEHsjux6JYMOVwr08t8fr9VManp-

IM5KSZQ9KnIMsLrkFB9SqlK5T~94OSj5emGMowAHuOnYsltYmU3o2l4AstK8
ugdZsbZ5nHIoMhcvN1QDEdNqWYzLzSscoheNwg6KeLWoz2Oyel~hGzXB3-
OLCtHhiNqOfSgy2sAi~xxw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Pereda, M., Del, M., Moreira, R., Roura, S. I., Marcovich, N., & Aranguren, M. I. (2014). *BIO-PELÍCULAS PARA EL ENVASADO DE ALIMENTOS: PROTEÍNAS Y CARBOHIDRATOS*.

Posada, B. (2016). la degradacion de los plasticos. *Revista Universidad Eafit*, 94, 67–86.
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.eafit.edu.co/bitstr
eam/handle/10784/16534/document%20%287%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Posada, J. C., & Montes, E. (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. *Informador Técnico*, 86(1).
<https://doi.org/10.23850/22565035.3417>

Proaño, A. (2020). *Análisis de la normativa pública para la reducción del uso de envases plásticos en Ecuador* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL].
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2512/1/UISRAEL-EC-MASTER-ADMP-378.242-2020-017.pdf>

Qin, Q., Zhang, X., Gao, B., Liu, W., Han, L., Sing, S. L., & Liu, X. (2023). Insight into the effect of different nanocellulose types on protein-based bionanocomposite film properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127944.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.127944>

Salazar, D., & Sobrado, D. (2019). *Obtención de Biopelículas de Almidón a Partir de dos Variedades de Maíz Amiláceo y Amarillo Duro (Zea Mays. L.)* [UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/5393/TAI00153S18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sarria, R., & Gallo, J. (2016). La Gran Problemática Ambiental de los Residuos Plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27. <https://jci.uniautonomo.edu.co/2016/2016-3.pdf>
- Solano, L., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Spaans, E. (2020). *Norma Técnica AA-NT-01: Acidez del suelo*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://agroanalisis.com.ec/wp-content/uploads/2022/01/AA-NT-01-Acidez-del-suelo.pdf>
- Statista. (2023, September 22). *Producción de plástico a nivel mundial de 1950 a 2021*. Statista Research Department. <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/#:~:text=En%202021%2C%20se%20produjeron%20aproximadamente,mundo%20durante%20el%20a%C3%B1o%20anterior.>
- Suárez, R., & Jetzy, X. (2019). *OBTENCION DE UNA PELICULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDONES DE SEMILLA DE AGUACATE (persea americana Mill) Y BANANO (Musa acuminata AAA) PARA EL RECUBRIMIENTO DE PAPAYA*. Universidad de Guayaquil .
- Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10–24. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.01.032>
- Viteri, J. (2020). *Utilizacion de cascara de platano (Musa spp.), en el desarrollo de películas biodegradables*.
- Vizúete, R., López, I., Delgado, A., & Sánchez, G. (2020). *BIO-PACKAGES FOR THE FOOD INDUSTRY FROM NANO-COM-POUNDS AND NATURAL POLYMERS*. 27(2), 34–55. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/aci/article/download/1036/1933/2879>

Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, C., Villacrés, E., Racines, M., & Caballero, D. (2020). *INIAP-199 “Racimo de Uva” VARIEDAD DE MAÍZ NEGRO*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4618/6/iniapscpd20.pdf>

Zambrano, C., Carrillo, J., & Latorre, G. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Ciencias Técnicas y Aplicadas*, 7(6), 596–614. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i6.4092>

ANEXOS

Anexo 1. "Resultados de contenido de nitrógeno en la muestra de suelo inicial"



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

01202

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 23-231		R01-7.8 03				
Solicitud N°: 23-231		Pág.: 1 de 1				
Fecha recepción:	20 de noviembre de 2023	Fecha de ejecución de ensayos: 21 al 23 de noviembre de 2023				
Información del cliente:						
Empresa:		C.L/RUC: 1724420953				
Representante:	Maria Belén Vargas	Tlf: 0996612077				
Dirección:	Ambato	Email: mvargas09053@uta.edu.ec				
Ciudad:	Ambato					
Descripción de las muestras:						
Producto:	Muestra de Suelo	Peso: 30g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: funda plástica				
Lote:	n/a	No de muestras: una				
F. Elb.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación:	Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días				
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 17 de noviembre de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Muestra de Suelo	23123441	Ninguno	Proteína, Kjeldhal	AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	%	0,338
			Humedad, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 925.10	%	23,4
			Aerobios Mesófilos, Petrifilm	PE03-7.2-MB AOAC 990.12, Ed. 22, 2023	UFC/g	6,1x10 ⁶
Conds. Ambientales: 22,4°C; 45,1%HR						
			 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad			
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 28 de noviembre de 2023						
Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente. "La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".						



Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los chasquis y Río Payamino
 Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
 (593) 32400987 ext. 5517, 5518 <http://laconal.uta.edu.ec> laconal@uta.edu.ec

Anexo 2. "Resultados de contenido de nitrógeno en la muestra de suelo final"



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

01252

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 23-252-A						R01-7.8.03
Solicitud N°: 23-252						Pág.: 1 de 1
Fecha recepción: 19 de diciembre de 2023			Fecha de ejecución de ensayos: 19 al 20 de diciembre de 2023			
Información del cliente:						
Empresa:		C.I./RUC: 1724420953				
Representante: Belén Vargas		Tlf: 0996612077				
Dirección: Ambato		Email: mvargas0953@uta.edu.ec				
Ciudad: Ambato						
Descripción de las muestras:						
Producto: Harina de maíz negro		Peso		Hm 400g		
Marca comercial: n/a		Tipo de envase:		funda plastica		
Lote: n/a		No de muestras:		una		
F. Elb.: n/a		F. Exp.:		n/a		
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:		Almac. en Lab: 30 días				
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:		Muestreo por el cliente: 19 de diciembre de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Harina de maíz negro	25223487	Ninguno	Nitrógeno, Kjeldhal	AOAC E 22, 2023 2001.1	%	0,256
Conds. Ambientales: 22,0°C; 54,0%HR						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 20 de diciembre de 2023						

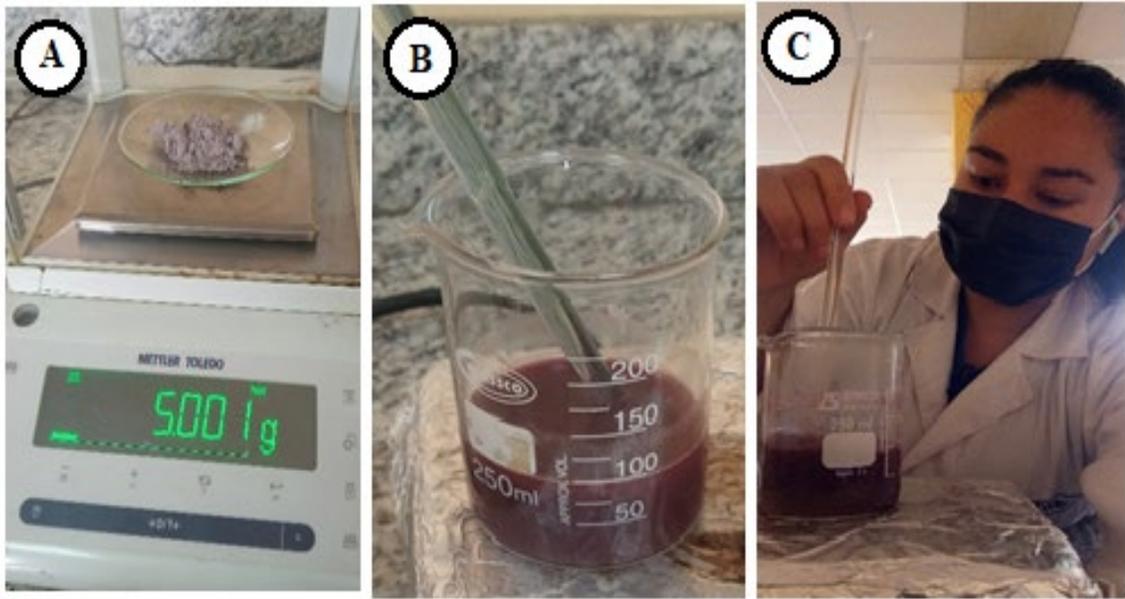
Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo esta prohibida y sera sancionada según el proceso legal pertinente".



Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los Chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
(593) 32400987 ext. 5517; 5518 <http://laconal.uta.edu.ec> laconal@uta.edu.ec



Anexo 3. *Obtención de bioplásticos de harina de maíz negro (Zea mays L.) A: Pesado de la harina; B: formación de la solución filmogénica; C: cocción de la solución filmogénica. Elaborado por: María Belén Vargas V.*



Anexo 4. *Obtención de bioplásticos de harina de maíz negro (Zea mays L.) A: secado de los bioplásticos; B: bioplástico final listo para desmoldado. Elaborado por: María Belén Vargas V*



Anexo 5. *Obtención de las muestras de bioplástico; A: verificación del proceso de secado; B: pesado de materia prima. Elaborado por:* María Belén Vargas V.



Anexo 6. *Proceso de análisis de permeabilidad de los bioplásticos; A: Pesado del gel de sílice; B: Muestras listas para el análisis. Elaborado por:* María Belén Vargas V



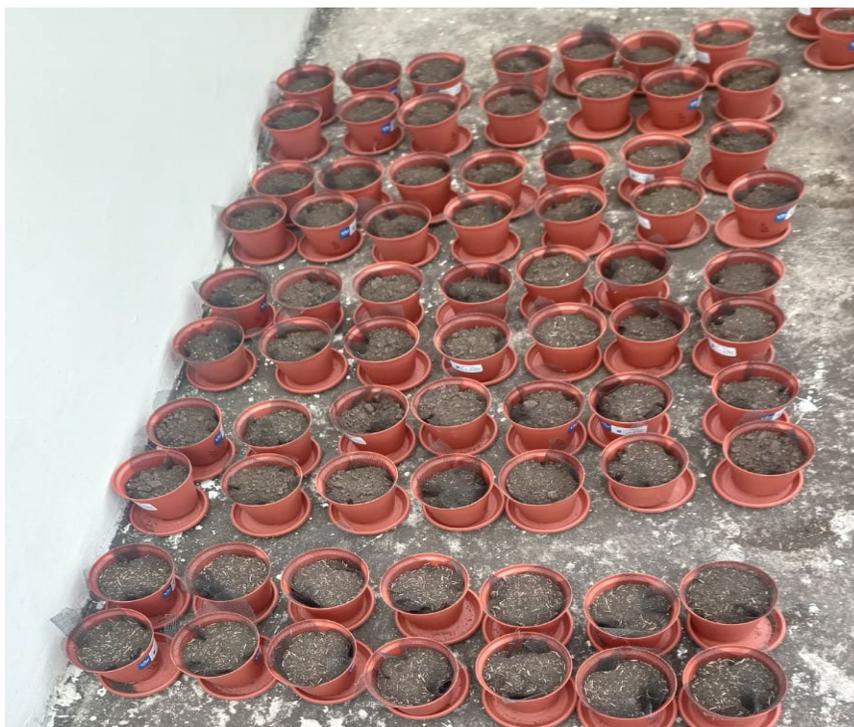
Anexo 7. *Análisis de resistencia al agua de los bioplásticos de harina de maíz negro (*Zea mays L.*) y glicerol (Cambio de coloración del agua al caer la muestra dentro del recipiente).* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.



Anexo 8. *Desarrollo del análisis de textura en el laboratorio de LACONAL.* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.



Anexo 9. *Proceso de biodegradación (ensayo de enterrada siembra en el laboratorio académico 2.2).* **Elaborado por:** María Belén Vargas V.



Anexo 10. *Proceso de biodegradación (ensayo de enterrado por 30 días) proceso realizado en la terraza de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.* **Elaborado por:** María Belén Vargas V



Anexo 11. *Proceso de biodegradación (ensayo de enterrado por 30 días) A: Identificación de una pequeña planta en una de las macetas; B: Verificación de condiciones ambientales. Elaborado por: María Belén Vargas V*