



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN CARRERA DE: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

**MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**ELABORACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE  
A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum L.*)  
VARIEDAD SUPERCHOLA, ESPAM MFL**

**AUTORES:**

**CALDERÓN MORALES ADRIÁN ARTURO  
CASTILLO GARCÍA GEMA GUADALUPE**

**TUTOR:**

**ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.SC.**

**CALCETA, JUNIO DE 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

**ADRIÁN ARTURO CALDERÓN MORALES** y **GEMA GUADALUPE CASTILLO GARCÍA** declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.



**ADRIÁN CALDERÓN MORALES**



**GEMA CASTILLO GARCÍA**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

**ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.SC**, certifica haber tutelado el proyecto **ELABORACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD SUPERCHOLA, ESPAM MFL**, que ha sido desarrollada por **ADRIÁN ARTURO CALDERÓN MORALES** y **GEMA GUADALUPE CASTILLO GARCÍA** previo la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.SC**

## **APROBACIÓN DE TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **ELABORACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A BASE DEL ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD SUPERCHOLA, ESPAM MFL**, que ha sido propuesta, desarrollada por **ADRIÁN ARTURO CALDERÓN MORALES** y **GEMA GUADALUPE CASTILLO GARCÍA**, previo la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

Ing. Evelin Zambrano Andrade, Mg.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Jonathan Chicaiza Intriago, Mg.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Blga. María Fernanda Pincay Cantos, Mg.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por mantenerme con salud y guiarme en todo este proceso de aprendizaje.

También agradezco a mis padres quienes han sido el pilar fundamental brindándome todo su apoyo día a día.

A toda mi familia en general por haber aportado con su granito de arena cuando más lo necesitaba, gracias siempre por su apoyo incondicional.

Gracias a toda esa gente que sin conocerme me brindó su apoyo y estuvo cuando más lo necesitaba.

A mi compañera de tesis que estuvo siempre a mi lado apoyándome desde el día uno, gracias de todo corazón.

A mi tutor el Ing. José Miguel Giler Molina por todo su apoyo durante todo este proceso educativo.

Muchas gracias a todos por siempre estar ahí y ser ese motivo por el cual me encuentro hoy aquí a punto de culminar una de las metas más importantes de mi vida.

**ADRIÁN ARTURO CALDERÓN MORALES**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien siempre estuvo presente bendiciéndome y guiándome para continuar con mis metas propuestas.

A mis padres que día a día me brindan su apoyo incondicional y gracias a ellos hoy puedo culminar mi carrera profesional.

También agradezco a mis madres de corazón Nancy y Sobeida, a mi hermano Julián y a su esposa Belén y a mi novio Fabian que siempre han estado presente siendo ese soporte que necesito para no rendirme, gracias por tanto amor y mil gracias por su apoyo.

Gracias a mi linda familia que siempre está pendiente de mí brindándome paciencia y sabiduría.

A mi compañero de tesis, gracias por tu paciencia y sobre todo por ser un amigo incondicional.

Agradezco infinitamente a mi tutor de tesis, Ing. José Miguel Giler quien con sus conocimientos, experiencia y motivación me guio en esta investigación.

Muchas gracias a todos los que están conmigo desde muy pequeña y ahora celebran conmigo este triunfo.

**GEMA GUADALUPE CASTILLO GARCÍA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios por todas sus bendiciones recibidas a lo largo de este trayecto hacia el profesionalismo, por haber sido mi guía para alcanzar mi propósito de convertirme en ingeniero en medio ambiente.

También a mis padres por ser ese pilar fundamental durante esta carrera universitaria, a mis hermanos y demás familiares quienes se merecen este triunfo al igual que yo.

Dedico este triunfo a mis amigos quienes también fueron parte de esa motivación para llegar a cumplir este objetivo.

**ADRIÁN ARTURO CALDERÓN MORALES**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios quien ha sido mi fortaleza y guía para alcanzar unos de mis sueños, convertirme en ingeniera en medio ambiente.

A mis padres Julián y Mirian quienes me educaron con valores y han hecho de mí una gran mujer y ahora profesional, este logro es de ustedes porque gracias a su esfuerzo y dedicación hoy conseguí uno de mis objetivos.

También lo dedico a mi familia por siempre apoyarme en las diferentes etapas del transcurso universitario.

**GEMA GUADALUPE CASTILLO GARCÍA**



## CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS

DERECHOS DE AUTORÍA.....	3
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	4
APROBACIÓN DE TRIBUNAL.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
DEDICATORIA.....	8
CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS.....	11
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	17
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.4 HIPÓTESIS.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	22
2.1.1. CONTAMINANTES AMBIENTALES.....	22
2.1.2. TIPOS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES.....	23
· CONTAMINANTES NO DEGRADABLES.....	23
· CONTAMINANTES DE DEGRADACIÓN LENTA O PERSISTENTE.....	23
· CONTAMINANTES DEGRADABLES O NO PERSISTENTES.....	23
· CONTAMINANTES BIODEGRADABLES.....	23
· PLÁSTICOS COMO AGENTES CONTAMINANTES.....	24
2.2. BIOPLÁSTICOS.....	24
2.2.1. BENEFICIOS DE LOS BIOPLÁSTICOS.....	24
2.2.2. APLICACIONES DE LOS BIOPLÁSTICOS.....	25
2.2.3. FABRICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.....	26
2.3. PAPA SUPERCHOLA ( <i>SOLANUM TUBEROSUM L.</i> ).....	26
2.3.1.COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	27
2.3.2. ALMIDÓN DE PAPA.....	28
2.3.3. USOS ALIMENTARIOS.....	28
· USOS NO ALIMENTARIOS.....	29
2.4. POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE PAPA.....	30
2.4.1. DESCOMPOSICIÓN AERÓBICA.....	30
2.4.2. DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA.....	31
2.4.3. LÁMINAS BIODEGRADABLES.....	31
2.5. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES.....	32

· GELATINIZACIÓN.....	32
· RETROGRADACIÓN.....	32
· PLASTIFICANTES.....	32
· GLICERINA.....	33
· RETICULACIÓN.....	33
· MELAMINA.....	34
· ÁCIDO ACÉTICO.....	34
2.5.1. BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES.....	34
2.5.3.NORMA INEN 2290 2015-12 (BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES).....	35
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO.....	36
3.1. UBICACIÓN.....	36
3.2. DURACIÓN.....	36
3.3. MÉTODOS.....	36
3.3.1. MÉTODO INDUCTIVO.....	36
3.3.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO.....	37
3.3.3. MÉTODO DE SÍNTESIS.....	37
· MÉTODO ESTADÍSTICO.....	37
· MÉTODO DE ANÁLISIS.....	37
3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	38
3.5. FACTORES DE ESTUDIO.....	38
3.6. TRATAMIENTOS.....	39
3.7 VARIABLES A MEDIR.....	39
3.8.1. FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PAPA ( <i>SOLANUM TUBEROSUM L.</i> ) PARA LA REALIZACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO BIODEGRADABLE.....	39
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	39
· ACTIVIDAD 1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	39
· ACTIVIDAD 2. ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA.....	40
3.8.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE PLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA EN LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES.....	40
· ACTIVIDAD 3. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIALES.....	40
· ACTIVIDAD 4. ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES DE ALMIDÓN.....	40
· ACTIVIDAD 5. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES.....	41
· ACTIVIDAD 6. VERIFICACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS.....	45
· ACTIVIDAD 7. ELABORACIÓN DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES.....	45
3.8.3. FASE III. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MEJOR TRATAMIENTO EN LA ELABORACIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLE.....	46
· ACTIVIDAD 8. ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES.....	46
· ACTIVIDAD 9. COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES...	47

3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	49
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PAPA ( <i>SOLANUM TUBEROSUM L.</i> ) PARA LA REALIZACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO BIODEGRADABLE... 49	49
4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PARA LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES..... 50	50
· SUPUESTOS DE ANOVA PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO.....	50
4.2.1. HUMEDAD.....	54
4.2.2. SOLUBILIDAD.....	57
4.2.3. ESPESOR.....	59
4.2.4. PERMEABILIDAD.....	59
4.3. DEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	62
· DEGRADACIÓN EN CONDICIONES AEROBIAS.....	62
· DEGRADABILIDAD EN CONDICIONES ANAERÓBICAS.....	63
4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS FUNDAS BIODEGRADABLES.....	64
4.4.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	64
4.4.2. ELONGACIÓN.....	69
4.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLE... 72	72
4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1. CONCLUSIONES.....	73
5.2. RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75

## CONTENIDOS DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 2.1.</b> Características agronómicas de la variedad “Superchola”.....	26
<b>Tabla 2.2.</b> Requisitos físicos de las láminas plásticas.....	34
<b>Tabla 3.1.</b> Unidad experimental.....	38
<b>Tabla 3.2.</b> Niveles de estudios por factores.....	38
<b>Tabla 3.3.</b> Constitución de los tratamientos.....	39
<b>Tabla 3.4.</b> Requisitos físicos de la película plástica.....	45
<b>Tabla 3.5.</b> Fuentes de variación del análisis de varianza.....	47
<b>Tabla 4.1.</b> Composición de la variedad de papa superchola.....	48
<b>Tabla 4.2.</b> Supuesto de normalidad para las variables en estudio.....	49
<b>Tabla 4.3.</b> Prueba de homogeneidad para los datos de la variable permeabilidad.....	50
<b>Tabla 4.4.</b> Análisis de ANOVA para la variable humedad.....	50
<b>Tabla 4.5.</b> Análisis de Tukey para la variable humedad (%) en función de los tratamientos. 51	51
<b>Tabla 4.6.</b> Análisis de ANOVA para la variable solubilidad.....	51
<b>Tabla 4.7.</b> Análisis de Tukey para la variable solubilidad (%).....	52

<b>Tabla 4.8.</b> Análisis de ANOVA para la variable espesor (mm).....	53
<b>Tabla 4.9.</b> Análisis de Tukey para la variable espesor (mm).....	53
<b>Tabla 4.10.</b> Análisis de ANOVA para la variable permeabilidad.....	54
<b>Tabla 4.11.</b> Análisis de Tukey para la variable permeabilidad (gs <sup>1</sup> m <sup>1</sup> Pa <sup>1</sup> ).....	54
<b>Tabla 4.12.</b> Supuestos de normalidad para las variables en estudio.....	58
<b>Tabla 4.13.</b> Supuesto de homogeneidad para las variables en estudio.....	59
<b>Tabla 4.14.</b> Análisis de ANOVA para la variable resistencia a tracción.....	59
<b>Tabla 4.15.</b> Análisis de Tukey para la variable resistencia a la tracción (MPa).....	60
<b>Tabla 4.16.</b> Análisis de ANOVA para la variable elongación (%).....	61
<b>Tabla 4.17.</b> Análisis de Tukey para la variable elongación (%).....	61
<b>Tabla 4.18.</b> Costo de producción por bolsa biodegradable a base de almidón de papa superchola.....	64

## Figuras

Figura 2.1. Diagrama de flujo de la obtención de almidón de papa.....	31
Figura 2.2. Estructura química de la glicerina.....	35
Figura 2.3. Estructura molecular de la melamina.....	36
Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio del laboratorio.....	38
Figura 3.2. Diagrama de flujo de la elaboración de láminas biodegradables.....	43

## Gráficos

Gráfico 4.1. Medias de humedad otorgadas por los niveles del factor A.....	34
Gráfico 4.2. Medias porcentuales de humedad otorgadas por los niveles del factor B.....	34
Gráfico 4.3. Interacción de los factores en estudio para la variable humedad.....	35
Gráfico 4.4. Medias de solubilidad otorgadas por los niveles del factor A.....	37
Gráfico 4.5. Medias de solubilidad otorgadas por los niveles del factor B.....	38
Gráfico 4.6. Interacción de los factores en estudio para la variable humedad. ....	38
Gráfico 4.7. Medias de espesor otorgadas por los niveles del factor A. ....	40
Gráfico 4.8. Interacción de los factores en estudio para la variable espesor.....	41
Gráfico 4.9. Medias de permeabilidad otorgadas por los niveles del factor A.....	43
Gráfico 4.10. Medias de permeabilidad otorgadas por los niveles del factor B.....	44
Gráfico 4.11. Interacción de los factores en estudio para la variable permeabilidad .....	45
Gráfico 4.12. Biodegradación de las láminas en condiciones aerobias en función de la pérdida de peso .....	46
Gráfico 4.13. Biodegradación de las láminas en condiciones anaeróbicas en función de la pérdida de peso .....	47
Gráfico 4.14. Medias de resistencia a la tracción aportadas por los niveles del factor A.....	50
Gráfico 4.15. Medias de resistencia a la tracción aportadas por los niveles del factor B.....	51

Gráfico 4.16. Interaccion de los factores en estudio para la variable resistencia a la tracción...	52
Gráfico 4.17. Medias de elongación aportados por los niveles del factor A.....	54
Gráfico 4.18. Medias de elongación aportados por los niveles del factor B.....	54
Gráfico 4.19. Interacción de los factores en estudio para la variable elongación .....	54

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo conseguir un bioplástico amigable con el medio ambiente como una alternativa al uso de polímeros sintético. Para esto, se consideró como materia prima el almidón de papa de la variedad superchola (*Solanum tuberosum* L.), y a partir de las propiedades físico-químicas como la humedad, cenizas, grasas, proteínas y amilosa, se determinó el grado de pureza de la misma. Se plantearon 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, obteniendo un total de 12 unidades experimentales, conformadas por la combinación de diferentes proporciones de almidón de papa (3,5 g y 4,5 g) y porcentajes de glicerina como agente plastificante (2,5 % y 5 %). Los bioplásticos fueron sometidos a pruebas de degradabilidad en suelo, siendo más efectivo el proceso de degradación anaerobio a 12 cm de profundidad en un lapso de tiempo de 20 días. Se realizaron análisis fisicoquímicos como el contenido de humedad, solubilidad, espesor y permeabilidad. Luego las láminas de plástico se utilizaron para la fabricación de bolsas biodegradables, las cuales fueron sometidas a pruebas físicas para como resistencia a la tracción y elongación a la rotura. Todos los tratamientos fueron aptos para la elaboración de fundas en especial el T4 (4,5 g de almidón y 5 % de glicerina), el cual presentó las mejores características fisicoquímicas, no obstante, este no supero los requisitos de resistencia a la tracción y elongación estipulados por la norma INEN 2290: 2015-12.

## PALABRAS CLAVES

Bioplástico, degradabilidad, glicerina, anaerobio, elongación, resistencia a tracción

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to obtain an environmentally friendly bioplastic as an alternative to the use of polymers of synthetic origin. For this, potato starch of the superchola variety (*Solanum tuberosum* L.) was considered as raw material, and from the physical-chemical properties such as: humidity (81.70 %), ashes, fats, proteins y amylose, the degree of purity of the same was determined. 4 treatments with 3 repetitions each were proposed, obtaining a total of 12 experimental units, which were constituted by the combination of different proportions of potato starch (3.5 g and 4.5 g) and percentages of glycerin as a plasticizing agent (2.5 % and 5 %). The bioplastics were subjected to soil degradation tests, the anaerobic degradation process being more effective at a depth of 12cm in a time period of 20 days. Physicochemical analyzes were performed on bioplastics such as: moisture content, solubility, thickness and permeability. Then the plastic sheets were used to manufacture biodegradable bags, which were subjected to physical tests for tensile strength and elongation. All treatments were suitable for the manufacture of covers, especially T4 (4.5 g of starch and 5 % glycerin), which presented the best physicochemical characteristics, however, it did not exceed the requirements of tensile strength and elongation stipulated by the INEN 2290: 2015-12 standard.

## **KEYWORDS**

Bioplastic, degradability, glycerin, anaerobic, elongation, tensile strength

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con Garmendia *et al.* (2015) el impacto ambiental es la alteración de la calidad del medio ambiente, esto es causado principalmente por la actividad humana que genera una gran cantidad de residuos PET (Polietileno Tereftalato), se convierte en el principal problema ambiental en el mundo, por su composición y tiempos prolongados de su degradación.

De acuerdo con Bollarín y Agullo (2019) el plástico es un material útil que se encuentra en infinidad de productos cotidianos, pero sumado al consumo y la cultura del uso y desperdicio, lleva a la generación de enormes y continuas cantidades de residuos. Teniendo en cuenta que los plásticos se degradan entre 100 y 1000 años, esto significa que no se combinan fácilmente en ciclos naturales de larga duración que afectan a los ecosistemas en los que existen de diferentes maneras.

Chamorro (2014) manifiesta que la producción de plástico ha superado la de cualquier otro material, puesto que está diseñado para desecharse después de ser utilizado una sola vez, es por esta razón que aproximadamente 13'000.000 t de plástico se filtran en los océanos cada año, dañando la biodiversidad, la economía y potencialmente la salud. Rodríguez (2015) asevera que es desconocido la cantidad de estos residuos en los mares; sin embargo, se estiman entre 5 a 50 billones de estos fragmentos, su mayoría en forma de microplásticos, sin embargo, el 80 % de los residuos marinos (vidrio, papel, cartón, metal, tela) proviene de la tierra, mientras que el 20 % restante de la actividad marítima (redes, líneas, boyas).

Es importante mencionar que existe un amplio sector industrial cuyos productos son elaborados de plásticos de un solo uso, es por esta razón que Fajardo (2018) señala que actualmente existe un aumento en la importación, comercialización y producción de materiales plásticos en el Ecuador, lo que genera una mayor demanda de este peligroso producto.

La Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018) estima que cada año aproximadamente unos 5 billones de bolsas de plástico de un solo uso se



consumen en el mundo. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2018) detalla que, en el Ecuador según el estudio de Información Ambiental en los hogares, el 78,40 % de las familias del país utilizan mayormente fundas plástica desechable, el 19 % usan bolsas o contenedor de tela o material reutilizable y el 2,60 % emplean bolsa o contenedor de papel y/o cartón.

El presente proyecto investigativo expone la problemática que genera la utilización de materiales plásticos de un solo uso, puesto que estos son perjudiciales para el medio ambiente, por lo que cada año se producen en todo el mundo millones de toneladas de plástico, que se degradan lentamente y producen partículas muy pequeñas. Las bolsas de plástico son uno de los productos plásticos que causan mayor daño al ecosistema, lo que no solo amenaza el medio ambiente, sino que aumenta la cantidad de desechos que provocan la muerte de muchas especies (Ecoplas, 2011).

Con lo manifestado anteriormente se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo se podrá disminuir el impacto generado al medio ambiente, por la acumulación de bolsas plásticas de un solo uso?.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento del almidón de papa para la elaboración de láminas biodegradables pretende reducir la utilización de bolsas plásticas, permitiendo así contribuir de manera sostenible con el medio ambiente. Por lo anteriormente expuesto se ha buscado la producción de biopolímeros plastificados, que a partir de materia orgánica se pueda obtener un material plástico biodegradable, procesos productivos que no son tóxicos, obteniendo beneficios de sus desechos o de la sobreproducción (Charro, 2015).

Las posibles alternativas físicas para la producción de bioplásticos incluyen almidón de maíz, mandioca, papa, etc. La papa es uno de los insumos más estudiados en su producción debido a su alto contenido de almidón, alto rendimiento y buenas propiedades en su estructura, como alto contenido de amilosa/amilopectina, este parámetro determina el tiempo de degradación (Holguin, 2019).

Según Rodríguez (2013) menciona que la papa es una materia prima cultivable de fácil disponibilidad para el desarrollo de una película plástica que puede tener una amplia gama de usos a nivel industrial, desde la fabricación de plásticos hasta empaques industriales, por ello, en el presente trabajo se tuvo como objetivo establecer los procesos, especificaciones y viabilidad económica de la producción de bioplásticos a partir de almidón de papa.

Esta investigación se ampara a lo decretado en la Constitución de la República del Ecuador (2008) en el título VII Régimen del Buen Vivir, en la sección octava, Art. 385 numeral 3: Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Según el plan de Desarrollo Toda Una Vida, esta investigación se enmarca en el objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, en concordancia con su cuarto párrafo: El desarrollo sostenible para alcanzar el Buen Vivir implica reestructurar la economía mediante la disminución de la dependencia de actividades extractivas, y la orientación de su

transición hacia una economía basada en el bio-conocimiento, la cual posicione a la biodiversidad como una fuente de conocimiento y saber.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Aprovechar el almidón de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad Superchola, para la elaboración de bolsas de plástico biodegradable.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las propiedades químicas de la papa (*Solanum tuberosum L.*) para la realización de material plástico biodegradable.
- Determinar el tratamiento a base de almidón y glicerina para la obtención de láminas de plástico a partir de almidón de papa en la elaboración de bolsas biodegradables.
- Establecer la valoración económica del mejor tratamiento en la elaboración de bolsas plásticas biodegradables.

## **1.4 HIPÓTESIS**

La aplicación del tratamiento de 4,5 g de almidón y 5 % de glicerina favorecerá la elaboración de bolsas plásticas biodegradables, que cumplan con los parámetros físicos de la Norma INEN 2290 2015-12 (bolsas plásticas biodegradables).

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La contaminación ambiental es un proceso cíclico que incluye todos los medios: agua, aire, suelo y desde todos los ángulos, los organismos vivos, tanto humanos, emisores como receptores de contaminantes, por lo tanto, los factores de contaminación son los remanentes de las actividades humanas en la sociedad, y causan efectos en el ambiente que afectan el ambiente físico, biológico, social y económico, así como los recursos naturales y las condiciones de salud en que existen (Escanilla, 2019).

El tema ambiental debe entenderse como un conflicto social, por lo que la intervención ciudadana debe ser el pilar para proponer nuevas políticas y programas ambientales; sin embargo, las creencias y actitudes ambientales no pueden sustraerse al contexto social, estacional y cultural en el que se busca intervenir. Castañeda et al. (2020) mencionan que, en los últimos años, los temas ambientales se han convertido en escenarios complejos a partir de los cuales surge cierta reflexión sobre las condiciones que enfrenta la sociedad moderna.

#### **2.1.1 CONTAMINANTES AMBIENTALES**

Los contaminantes que se liberan directamente de la fuente se denominan contaminantes primarios y se liberan a la tasa o flujo de emisión, que es la velocidad a la que se emiten desde la fuente, en donde sufren procesos como transporte, dispersión y reacciones químicas, convirtiéndose en contaminantes secundarios. Estos contaminantes alcanzan los receptores a través de diversos mecanismos (precipitación o cadena alimenticia) provocando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema (Conde, 2013).

#### **2.1.2 TIPOS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES**

- **CONTAMINANTES NO DEGRADABLES**

Estas son sustancias que no se descomponen por procesos naturales, como el plomo y el mercurio. La mejor manera de lidiar con los contaminantes no biodegradables (que se degradan lentamente) es evitar que se liberen al medio

ambiente en lugar de reciclarlos y reutilizarlos (Conde, 2013). Por otra parte, Castañeda et al. (2020) indican que son sustancias que permanecen mucho tiempo en el ambiente. En el caso de los plásticos, tardas décadas en degradarse, aunque no se degrada por completo debido a la presencia de microplásticos, de los cuales se ha advertido de la posibilidad de que existan en paquetes de sal y en latas de sardinas con dimensiones de hasta 5 milímetros, incluso se ha anunciado su hallazgo en el intestino y en heces humanas.

- **CONTAMINANTES DE DEGRADACIÓN LENTA O PERSISTENTE**

De acuerdo a Jaso (2020), los Dicloro difenil tricloroetano (DDT) y principalmente los plásticos de un solo uso, son contaminantes persistentes que están intoxicando el agua, el aire o el suelo. De todos los desechos plásticos, un tercio termina en el suelo o en cuerpos de agua dulce, y se estima que la contaminación por microplásticos de la tierra es de 4 a 23 veces mayor que la contaminación marina. Por otro lado, los de descomposición lenta según Juliño et al. (2021) son contaminantes que tardan décadas o más en descomponerse porque no se degradan a través de procesos naturales. Para hacer frente a estos residuos contaminados, es preferible reciclarlos.

- **CONTAMINANTES DEGRADABLES O NO PERSISTENTES**

Los contaminantes biodegradables son compuestos polares de alto peso molecular y baja volatilidad (Petrie *et al.*, 2015). Estos contaminantes son principalmente productos farmacéuticos, productos de belleza, hormonas esteroides y de cuidado personal. Si bien estos productos pueden degradarse en condiciones naturales a través de procesos físicos, químicos o biológicos, su uso diario significa que ingresan constantemente al medio ambiente en concentraciones potencialmente dañinas (Guerrón, 2016).

- **CONTAMINANTES BIODEGRADABLES**

Ortega (2013) afirma que la biodegradación de contaminantes orgánicos antropogénicos involucra una variedad de reacciones enzimáticas, mediante las cuales estos compuestos son modificados por organismos (principalmente microorganismos) para producir cambios significativos en el medio ambiente. Por ejemplo, es bien conocida la eficiencia con la que operan muchos procesos de

biodegradación cuando se filtra el agua. Asimismo, los procesos de biodegradación suelen ser los responsables de la rápida desaparición de plaguicidas como: fungicidas, desecantes o deshojadores, en suelos agrícolas, tienen un fuerte impacto en el medio ambiente y la economía.

- **PLÁSTICOS COMO AGENTES CONTAMINANTES**

Según Bollarín y Agullo (2019), el uso de plásticos se ha incrementado dramáticamente en los últimos años. La difícil reciclabilidad y la baja biodegradabilidad conducen a su acumulación en el medio ambiente. A pesar de su alta estabilidad, está sujeto a la corrosión física y química, lo que conduce a la aparición de virutas más pequeñas ( $\leq 5\text{mm}$ ). En la actualidad, los plásticos se producen de forma masiva para dar cabida a nuevas necesidades, lo que promueve un consumo incesante de los mismos; sin embargo, el verdadero problema de los plásticos ocurre cuando finaliza su vida útil, donde una de las lamentables opciones, es depositarlos en los vertederos, deteriorando el paisaje y originando contaminación (López y Franco, 2021).

## **2.2. BIOPLÁSTICOS**

Según Calahorrano et al. (2015) los bioplásticos son productos que provienen de insumos y plásticos de fuentes renovables, como almidones, grasas y aceites que aumentan la biodegradación. Con el plástico biodegradable, el material obtenido de fuentes naturales no contiene estos rellenos químicos y no presenta los mismos riesgos ambientales. Los plásticos biodegradables son plásticos que los microorganismos pueden descomponer en agua, dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y otros materiales biológicos.

### **2.2.1. BENEFICIOS DE LOS BIOPLÁSTICOS**

De acuerdo con Labeaga, (2018) la ventaja de los bioplásticos es su capacidad para reducir los residuos plásticos depositados en los vertederos, con el fin de aumentar su vida útil y reducir su impacto en el medio ambiente, en unas condiciones específicas, pero esto solo sucederá si se cuenta con un sistema de clasificación y recolección. A diferencia de los plásticos convencionales fabricados a partir de combustibles fósiles, los bioplásticos se definen como materiales que

contienen polímeros básicos que consisten en recursos renovables o biodegradables y que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para su biodegradabilidad (Jaso, 2020)

Los beneficios del bioplástico según Juliño et al. (2021) son que:

- Reducen la huella de carbono.
- Suponen un ahorro energético en la producción.
- No consumen materias primas no renovables.
- Reducen los residuos no biodegradables, que contaminan al medio ambiente.
- No contienen aditivos perjudiciales para la salud.
- No modifican el sabor y el aroma de los alimentos contenidos.

### **2.2.2. APLICACIONES DE LOS BIOPLÁSTICOS**

Los plásticos biodegradables se utilizan a menudo cuando la biodegradabilidad es particularmente beneficiosa. Esto sucede, en agricultura, con almohadas o macetas de plástico, que no se desecharán al final de su vida útil, sino que se convertirán en biomasa en el suelo. En los hogares, las bolsas de basura compostables han abierto un mercado, donde se pueden compostar con residuos orgánicos (Worldwide, 2013).

Juliño et al. (2021) mencionan que los plásticos biodegradables son un medio adecuado para varias aplicaciones ideales o de baja duración. A la fecha, el almidón y el ácido poliláctico son las principales materias primas para la adquisición y comercialización de bioplásticos para envases y otras aplicaciones industriales, tales como:

- Uso y manejo de residuos orgánicos.
- Parte agrícola y hortícola (como láminas para cobertores de suelo, o recipientes).
- Envasado de víveres.
- Bolsas.

### **2.2.3. FABRICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS BIODEGRADABLES**

Los plásticos biodegradables se obtienen de fuentes renovables como las proteínas y de diversos almidones. Estos polímeros adquieren formas útiles para la producción de materiales biodegradables y juegan un papel importante en la biodegradación. Es una mezcla básica de almidón y polímeros, junto con otros biodegradables materiales polímeros Enríquez *et al.* (2012). Además, informan que se preparan formulaciones poliméricas biodegradables rentables para preparar películas, películas y otros materiales de envasado utilizando al menos un polímero sólido biodegradable y un polímero biodegradable (Angamarca y Delgado, 2022).

### **2.3. PAPA SUPERCHOLA (*Solanum tuberosum L.*)**

La papa de la variedad Superchola es un tubérculo perteneciente a la familia Solanaceae de género Solanum, subgénero Potatoe, Sección Petota, serie Tuberosa, especie *Solanum Tuberosum* y subespecie Andigena (Bastidas, 2013). Esta variedad de papa tiene un porte de crecimiento erecto, el cuerpo es verde con manchas moradas, las alas son rectas y onduladas; las hojas se dividen en un folíolo definitivo, tres o cuatro folíolos laterales, dos o tres pares de folíolos entre los folíolos laterales y uno o dos pares de folíolos en el pedúnculo. Los tubérculos son de forma ovalada, el aspecto de los brotes, principalmente rosado, el color secundario es blanco crema, distribuidos alrededor del cogollo y la pulpa tuberosa es de color amarillo oscuro (Mastrocola *et al.*, 2016).

La variedad Superchola crece bien en la región de la Sierra al norte del estrecho de los Andes, en el rango de elevación de 2800 a 3400 m sobre el nivel del mar, densidad de siembra de 1000-1200 kg/ha de semillas certificadas, distancia entre hileras de 1,1 a 1,2 m y distancia entre árboles de 0,3 a 0,4 metros; lo que da un rendimiento promedio de 20 a 30 ton/ha (Mastrocola *et al.*, 2016). Así, en la tabla 2.1 se muestran algunas de las características agronómicas de la variedad superchola.



**Tabla 2.1.** Características agronómicas de la variedad "Superchola".

Característica	Observación
Periodo de reposo	80 días
Número de tubérculos	20-25
Maduración	180 días
Rendimiento	20-30 t/ha
Contenido de materia seca	22-24%
Usos	Consumo en fresco, sopas, agroindustria
Reacciones a enfermedades	Susceptible a lancha ( <i>Phytophthora infestans</i> ), resistencia a media a roya ( <i>Puccinia piittieiana</i> ), tolerante al nematodo del quiste de papa ( <i>Globodera pallida</i> ).

Fuente: (Mastrocola et al., 2016).

### 2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La papa tiene un contenido de humedad promedio de 82% y esto varía según la madurez del producto, ya que a medida que madura el proceso, la cantidad de agua disminuye (Guerrero et al., 2015). El contenido de cenizas de la patata se encuentra entre el 0,4 y el 1,9%, mientras que el contenido de sólidos o materia seca total en la patata se sitúa entre el 13,10 y el 36,80% y está compuesto principalmente por harina de almidón, proteína, ceniza, fibra y grasa, donde el almidón es el principal componente y representa 3/4 de la materia seca (Moreno et al., 2017).

### 2.3.2. ALMIDÓN DE PAPA

El almidón de papa tiene propiedades únicas, como un alto contenido de fósforo, alta viscosidad, alta capacidad de hinchamiento, alta claridad de gel, baja tendencia a descomponerse, así como gran tamaño de gránulo. La alta calidad del almidón de patata se debe en parte a su gran tamaño de grano, distribución, contenido mineral, proporción de amilosa a amilopectina y alto contenido de éster de fosfato de almidón (Peña, 2017).

Según Nazate (2018) el grado de variación granular del almidón de papa es alto en comparación con otras fuentes botánicas de almidón, en promedio al tamaño del gránulo varía de 1 a 20  $\mu\text{m}$ . Estos gránulos de almidón de papa presentan morfología esferoide u oval, aunque generalmente son elipsoidales o cúbicas, incluso de forma irregular. Esta variación en la forma de los gránulos del almidón

de papa podría relacionarse a la limitada disponibilidad de espacio entre las células del tubérculo, las cuales pueden conducir a alteraciones en la morfología del gránulo.

### 2.3.3. USOS ALIMENTARIOS

De acuerdo con Vega (2020) la papa es un alimento de mayor consumo a nivel mundial junto con el trigo, el maíz y el arroz, ejerciendo un rol importante en la seguridad alimentaria de la población. Son diversas las formas de consumirla, donde muchas de ellas incluyen procesamiento del tubérculo; a continuación, se detalla uno de ellos que es de interés para la presente investigación.

- **Extracción del almidón:** El almidón de patata es un producto de uso humano e industrial. La producción de fécula de patata requiere un alto contenido de materia seca (más del 25%) porque existe una fuerte correlación entre ésta y el contenido de almidón.

El proceso para la extracción del almidón se representa en la figura 2.1 a través de un diagrama de flujo en el que se detallan los procesos de recepción, lavado, pelado, triturado, decantación y secado para obtener el almidón como producto final.

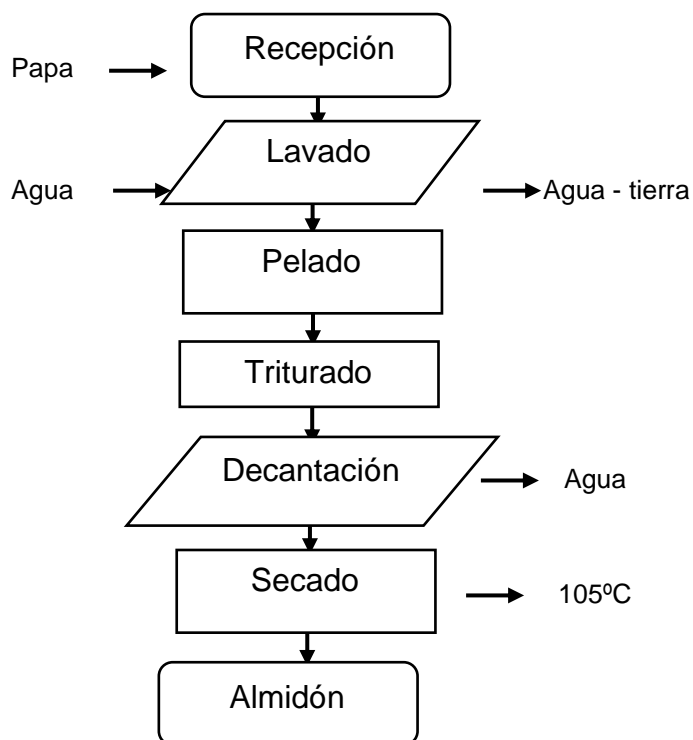


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la obtención de almidón de papa.

Fuente: Charro (2015).

- **USOS NO ALIMENTARIOS**

Ocaña (2019) menciona que la cáscara de la papa y otros desechos sin valor de la industrialización de la papa tienen un alto contenido de almidón, además son una fuente potencial de componentes funcionales y bioactividad, y no contienen químicos, con capacidad antioxidante, vitaminas y minerales; por estas razones, se recomienda consumir este subproducto, ya que los antioxidantes neutralizan los radicales en el organismo y ayudan a reducir los efectos del estrés oxidativo. Este almidón residual se utiliza en las industrias farmacéutica, textil, maderera y papelera como aglutinante, aglutinante, coordinador y relleno, y en las empresas de perforación petrolera para descargar pozos (Vega, 2020).

#### **2.4. POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE PAPA**

De acuerdo con Charro (2015) los polímeros biodegradables pueden degradarse naturalmente, representan una nueva generación de materiales que reducen de sobremano el impacto ambiental del consumo de energía y la generación de residuos después de su uso. En principio, deberían comportarse como los tradicionales plásticos fósiles (petróleo), aunque todavía tienen ciertas limitaciones como la solubilidad en ambientes húmedos.

El almidón de patata es un polvo fino de color blanco con una textura distintiva, insípida e inodora, que proporciona una mayor viscosidad que la fécula de maíz y trigo, además de permitir y facilitar la elaboración de productos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

De acuerdo con Labeaga (2018) los criterios para seleccionar un polímero como material biodegradable, se deben tomar en cuenta las propiedades mecánicas, así como el tiempo de descomposición requerido para la aplicación, donde los factores que afectan la velocidad de descomposición son:

- Condiciones del medio tales como: temperatura, humedad, pH.
- Características del polímero, como presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, hidrofobicidad, peso molecular, cristalinidad, temperatura de transición vítrea y de fusión.

- Características de los microorganismos, tales como: cantidad, variedad, fuente, actividad.

### **2.4.1. DESCOMPOSICIÓN AERÓBICA**

De acuerdo con Corrales et al. (2015) es un proceso llevado a cabo por varios grupos de microorganismos, entre los más comunes: bacterias, protozoos y hongos, que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta y la transforman en productos finales inocuos y materia orgánica celular. La tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido al proceso de absorción y asimilación de materia orgánica para formar nuevo protoplasma. A medida que avanza la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento de las bacterias comienza a disminuir (Villegas, 2019).

### **2.4.2. DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA**

Se trata de un proceso biológico complejo y degradante en el que una parte de la materia orgánica de un sustrato (los desechos de animales y plantas) es convertida en biogás, una mezcla de dióxido de carbono y metano, por un grupo de bacterias. Sensible o completamente bloqueado por el oxígeno o sus precursores, es importante señalar que, durante la digestión anaerobia, más del 90% de la energía disponible se convierte por oxidación directa en metano, y solo el 10% de la energía se consume para el crecimiento bacteriano en comparación con 50% de la energía gastada en un sistema aeróbico (FAO, 2011).

Los procesos de descomposición de las bacterias anaeróbicas ocurren en condiciones hipóxicas, donde los microorganismos productores de metanol desempeñan el papel de enzimas respiratorias y esqueléticas, mientras que los microorganismos no aerobios desempeñan el papel de cadena trófica unida a la cadena enzimática de las células aerobias (Aguilera, 2017) De esta forma, los residuos orgánicos se convierten completamente en biogás. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con varios componentes, lo que puede complicar su manejo y uso (Corrales *et al.*, 2019).

### **2.4.3. LÁMINAS BIODEGRADABLES**

Las placas biodegradables a base de almidón se almacenan en condiciones normales de almacenamiento y uso normal durante unos 18 meses, sin ningún tipo de cambio estructural o físico, el más importante de los cuales es que no afectará al medio ambiente y por lo tanto está garantizado, aunque también depende de la calidad, la resistencia a la tracción y a los pinchazos. Los sellos son confiables, tan fuertes como las bolsas de polietileno normales (Pascual, 2016).

## **2.5. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES**

- **GELATINIZACIÓN**

Se define como la pérdida por semicristalización de los granos de almidón en presencia de calor y grandes cantidades de agua, con poca o ninguna despolimerización. La gelatinización ocurre dentro de un estrecho rango de temperatura que varía según la fuente de almidón (Menoscal y Rodríguez, 2017).

El rango de temperatura en el que se produce el hinchamiento de la mayoría de los gránulos se define como el rango de gelatinización, que es el rango típico para las variedades de almidón de patata. Por lo tanto, si se continúa proporcionando calor a los gránulos abultados, se desintegrarán parcialmente para que la amilosa y la amilopectina se distribuyan en la matriz de la solución. Al final de este proceso, se forma una pasta o gel (Guerrero, 2019).

- **RETROGRADACIÓN**

Es la insolubilidad y precipitación voluntaria de las moléculas de amilosa, ya que sus cadenas lineales están dispuestas de manera similar por enlaces de hidrógeno. Cada muestra de almidón tiene una tendencia diferente a revertir la degradación asociada al contenido de amilosa (Guamán, 2019). Hay dos caminos por los que se puede llevar a cabo la descomposición inversa, que están igualmente controlados por la concentración y la temperatura del sistema: está el camino rápido, en el que la solución de amilosa condensada se calienta y airea rápidamente. Un gel tratable (Rodríguez et al., 2021). Y la vía lenta, en la que la

solución diluida se vuelve opaca y precipita después de ser calentada, se deja enfriar a temperatura ambiente (Guerrero, 2021).

- **PLASTIFICANTES**

De acuerdo con la normativa NTE INEN 2635 (plásticos no rígidos) un plastificante es una sustancia de baja volatilidad que se agrega a un polímero para aumentar su flexibilidad y fluidez, y se incorpora a los plásticos para ayudar en el curado y mejorar su flexibilidad o distracción. La adición de plastificantes puede reducir la viscosidad fundida, el módulo de elasticidad y la temperatura de transición vítrea del plástico (Guamán, 2019).

- **GLICERINA**

Es una sustancia viscosa incolora que tiene un sabor y olor dulce característico, misma que se compone principalmente de alcoholes con tres grupos hidroxilo (OH) y tiene la fórmula molecular C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub> (Brown et al., 2018). No es tóxico y soluble en agua y también se descompone a 100°C. De igual manera que el agua destilada el glicerol también es considerado como un plastificador, el cual proporciona suavidad y humectación al almidón (Plastificante, da al almidón suavidad y humedad Arguello y Torres, 2021).

Este compuesto es de gran importancia en la retodegradación reversible de los productos termoplásticos, y de igual forma su acción como lubricante asegura la necesaria movilidad de las cadenas poliméricas relacionadas con el almidón.

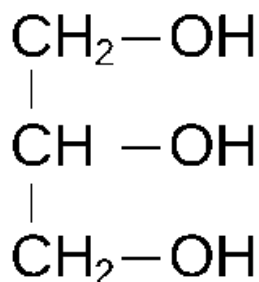


Figura 2.2. Estructura química de la glicerina.  
Fuente: Charro (2015).

- **RETICULACIÓN**

Es un proceso en el cual las cadenas largas que constituyen un polímero se unen mediante enlaces covalentes, aumentando así la masa molecular del polímero como resultado de este entrecruzamiento (Herranza, 2016). Este es un paso muy importante en el proceso de microencapsulación porque los enlaces que forman estos enlaces covalentes son muy estables mecánica y térmicamente, lo que significa que una vez formados son extremadamente difíciles de romper. Si se logra una buena reticulación de las microcápsulas, se puede asegurar que estas tengan buena estabilidad y no se rompan fácilmente (Moreno et al., 2018).

- **MELAMINA**

Según Gómez (2020), la melamina es un compuesto orgánico que a menudo se combina con formaldehído para producir resina de melamina, un polímero sintético resistente al fuego y al calor. La melamina se puede moldear fácilmente a 70 °C durante 15 minutos, pero mantendrá una forma firme al enfriarse, lo que la hace ideal para algunas aplicaciones industriales. Su fórmula molecular es  $C_3H_6N_6$ .

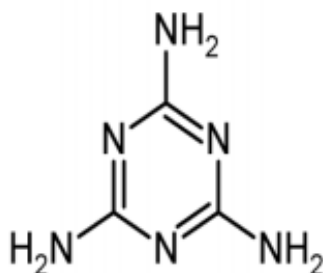


Figura 2.3. Estructura molecular de la melamina.  
Fuente: Charro (2015).

- **ÁCIDO ACÉTICO**

Es un líquido incoloro, de olor característico, soluble en agua. También conocido como ácido etanoico, se caracteriza por ser un ácido orgánico que se encuentra principalmente en el vinagre (Rosales, 2016). Su fórmula molecular es  $C_2H_4O_2$ , se trata de un aditivo propuesto para actuar como modificador químico, ya que reduce la naturaleza hidrofílica del almidón, otorgando propiedades hidrofóbicas a la sustancia en la que se actúa (Fernández et al., 2020).

### **2.5.1. BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES**

Yamunaqué et al. (2018) aseveran que las bolsas biodegradables, a diferencia de las bolsas normales, las bolsas biodegradables contienen un aditivo avanzado especial llamado aditivo plástico totalmente degradable (TDPA), que les permite iniciar el proceso y degradarse después de aproximadamente un año de exposición al oxígeno y la luz.

Según Hernández (2013), los sacos biodegradables se descomponen en muchos pedazos cada vez más pequeños, lo que permite que microorganismos como hongos o bacterias tomen el material del saco y lo conviertan en agua, biomasa (humus), sal, agua, minerales y dióxido de carbono. Por consiguiente, las bolsas plásticas biodegradables no empiezan a degradarse desde la fecha de fabricación, sino hasta después de haber sido expuestas a la luz y al aire (Fernández, 2018).

Las láminas elaboradas con almidón o fécula son aquellos que toleran el calor. Puede manipularse o moldearse de tal manera que el bioplástico resultante sea elástico y flexible. Es importante señalar que las bolsas biodegradables mantienen las mismas características que las bolsas convencionales y se pueden reutilizar en casa para fines domésticos (Yamunaqué et al., 2018).

### **2.5.3. NORMA INEN 2290 2015-12 (BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES)**

En la norma se establecen los requisitos a cumplir para las bolsas plásticas de residuos y desechos sólidos, se excluyen las bolsas para residuos sólidos de desechos peligrosos y especiales (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2015).

Es importante mencionar que con la elaboración de láminas plásticas se obtienen bolsas plásticas biodegradables, estas deben cumplir con los requisitos físicos de esta norma, que se detalla en la tabla 2.2.



**Tabla 2.2.** Requisitos físicos de las láminas plásticas.

<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>						
<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Métodos de ensayo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Alta densidad</b>	<b>Baja densidad</b>
<b>Industrial</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	MPa	ASTM D 882	DM	≥30	≥25
				DT	≥25	≥20
	<b>Elongación a la rotura</b>	%		DM	≥300	≥400
				DT	≥250	≥300
<b>Doméstica</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	MPa	ASTM D 882	DM	≥25	≥22
				DT	≥20	≥17
	<b>Elongación a la rotura</b>	%		DM	≥300	≥400
				DT	≥250	≥300
<b>Baño</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	MPa	ASTM D 882	DM	≥20	≥15
				DT	≥15	≥12
	<b>Elongación a la rotura</b>	%		DM	≥250	≥300
				DT	≥200	≥250

DM: Dirección de la máquina; DT: Dirección transversal

Fuente: INEN 2290 (2015).

# CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

## 3.1. UBICACIÓN

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de Química Ambiental del área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, en su zona geográfica (X) 590528 y (Y) 9908638

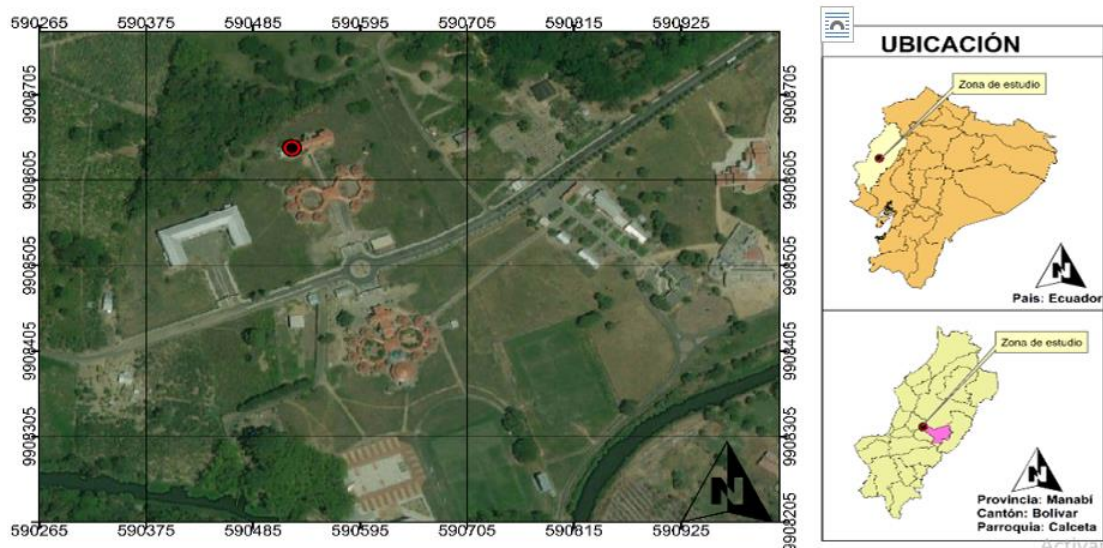


Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio.  
Fuente: Google Maps (2021).

## 3.2. DURACIÓN

La investigación se realizó en un periodo de 6 meses una vez que fue aprobada la planificación.

## 3.3. MÉTODOS

Los métodos que se utilizaron para poder cumplir con los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

### 3.3.1. MÉTODO INDUCTIVO

Se implementó el método inductivo con la finalidad de verificar cuál de los tratamientos planteados fue el de mejores condiciones para la elaboración de bolsas plásticas puesto que, Prieto (2017) afirma que este método consiste en estudiar u observar ciertos hechos o experiencias con el fin de sacar conclusiones que se puedan extraer o partir de ellos la base de una teoría.

### **3.3.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

Corona (2016) asevera que la revisión bibliográfica facilita a un individuo fuentes de información. En el caso de la investigación descrita, se logró obtener información de las metodologías aplicadas en la elaboración del material plástico biodegradable a través de libros, revistas, manuales, entre otros.

### **3.3.3. MÉTODO DE SÍNTESIS**

Se utilizó para elaborar el marco teórico de la investigación, así como para evaluar las tablas resúmenes/ comparativos y las respectivas discusiones, así como las conclusiones, las que permitieron formular las recomendaciones para la implementación de la solución del problema de investigación (Pérez, 2017).

### **3.3.4 MÉTODO ESTADÍSTICO**

Según Hernández (2012) son procedimientos que permiten manejar datos cuantitativos y cualitativos a través de técnicas de recolección, presentación, descripción, recuento, y análisis. Los métodos estadísticos facilitaron la comprobación de hipótesis y establecer relaciones de causalidad en un determinado fenómeno. Este método se aplicó para realizar la recopilación y tabulación de datos, también permitió realizar el análisis de varianza (ANOVA), para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos utilizando pruebas post hoc como Tukey al 5 %.

### **3.3.5 MÉTODO DE ANÁLISIS**

Este análisis determina la fuerza de la asociación entre variables, y generaliza los resultados y los hace objetivos sobre una muestra para sacar conclusiones para la población. Este método será aplicado para realizar una recopilación de datos exhaustiva y controlada para determinar el mejor tratamiento para la obtención de bolsas biodegradables, también permitirá analizar y obtener conclusiones y recomendaciones acerca del objeto de estudio.

## **3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL**

Las unidades experimentales fueron conformadas por 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, donde se obtuvo un total de 12 unidades experimentales, las cuales se encuentran constituidas por la combinación de diferentes cantidades

de almidón de papa y porcentajes de glicerina como agente plastificante detallado en la tabla 3.1., estas cantidades fueron mezcladas junto con 60 ml de agua, 1,5 ml de ácido acético diluido (5,2 N) para regular el pH de la mezcla y 9 % de melamina como material reticulante, elaborando las láminas de plástico biodegradable. Se utilizaron moldes de dimensiones de 2,5 cm x 2,5 cm, formando de esta manera las respectivas bolsas de plásticos biodegradables.

**Tabla 3.1.** *Unidad experimental.*

UNIDADES EXPERIMENTALES				
Tratamientos	Almidón (g)	Glicerina (%)	Agua destilada	Ácido acético
T1	3,5	2,5	60 mL	1,5 mL
T2	4,5	2,5		
T3	3,5	5		
T4	4,5	5		

Fuente. Los investigadores.

### 3.5. FACTORES DE ESTUDIO

Factor A: Cantidad de almidón.

- 3,5 g
- 4,5 g

Factor B: Porcentaje de glicerina.

- 2,5 %
- 5 %

**Tabla 3.2.** *Niveles de estudios por factores.*

Factor	Nivel Mínimo (-)	Nivel Máximo (+)
Almidón (g)	3,5	4,5
Glicerina (%)	2,5	5

Fuente. Los investigadores.

### 3.6. TRATAMIENTOS

Se establecieron 4 tratamientos con 3 repeticiones establecidos por el diseño factorial 2<sup>2</sup>, los cuales se evaluaron en función de las variables respuestas. Estos tratamientos se detallan en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** *Constitución de los tratamientos.*

Tratamiento	Almidón (g)	Glicerina (%)
T <sub>1</sub>	3,5	2,5
T <sub>2</sub>	4,5	2,5
T <sub>3</sub>	3,5	5
T <sub>4</sub>	4,5	5

Fuente: Los investigadores.

### 3.7 VARIABLES A MEDIR

Se consideraron las siguientes variables:

- **Variable independiente:** Almidón de papa superchola.
- **Variable dependiente:** Material plástico biodegradable.

### 3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

#### 3.8.1 FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA LA REALIZACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO BIODEGRADABLE.

- **ACTIVIDAD 1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA**

En esta actividad se recopiló información de diversas fuentes bibliográficas, revistas, libros y artículos científicos, donde se obtuvo una metodología idónea referente a los análisis que se deben emplear para conocer las propiedades químicas de la papa.

- **ACTIVIDAD 2. ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA**

Se realizaron análisis de la papa superchola en donde se mostraron los valores porcentuales para los diferentes parámetros: humedad, cenizas, proteínas y grasas, para la extracción del almidón y una correcta elaboración de láminas biodegradables.

### **3.8.2 FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE PLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA EN LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES**

- **ACTIVIDAD 3. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIALES**

Para la extracción del almidón de la papa (*Solanum Tuberosum L.*) se aplicó la metodología propuesta por Charro (2015) que mediante una secuencia de procesos establecidos, inicia pelando las papas para pesarlas hasta obtener 1 kg, luego se ralla cada una de las papas sobre un recipiente con agua para evitar la oxidación, después de este procedimiento se colocó la papa rallada en una tela filtrante realizando varias lavadas con agua potable hasta observar que ésta fuera lo más transparente, es importante mencionar que el agua que se utilizó para lavar la papa rallada, se debe decantar por 12 horas y poder eliminarla, y recolectar el precipitado (almidón) en recipientes de vidrio resistentes al calor, seguidamente, se procedió a colocarlos a 30 °C en una estufa aumentando la temperatura desde 60 a 80 °C para finalmente aumentar de 95 a 105 °C, por un intervalo de tiempo de 6 horas (Ver figura 2.1).

- **ACTIVIDAD 4. ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES DE ALMIDÓN**

Para el proceso de elaboración de las láminas se tomó como referencia el procedimiento establecido por Charro (2015), donde se utilizó 4,5 g de almidón de papa en un vaso de precipitación (100 ml), adicionando 60 ml de agua destilada y 1,5 ml de ácido acético previamente diluido en 50 ml de agua destilada, luego mediante agitación mecánica utilizando una plancha magnética se homogenizó por 5 minutos, tiempo en el que se fueron agregaron los plastificantes según el porcentaje requerido (2,5 y 5%) y la melamina como material reticulante al 9 %. Finalmente se aumentó la temperatura hasta 65 °C por 15 minutos con agitación constante, después de este proceso se vació la mezcla viscosa en los moldes de vidrio para proceder a secarlos mediante una estufa 40 °C por 15 horas, luego se retiraron y se dejó enfriar hasta que la lámina se pueda desmoldar fácilmente. En la figura 3.2 se detalla el diagrama de flujo que se utilizó para la obtención de las láminas biodegradables.

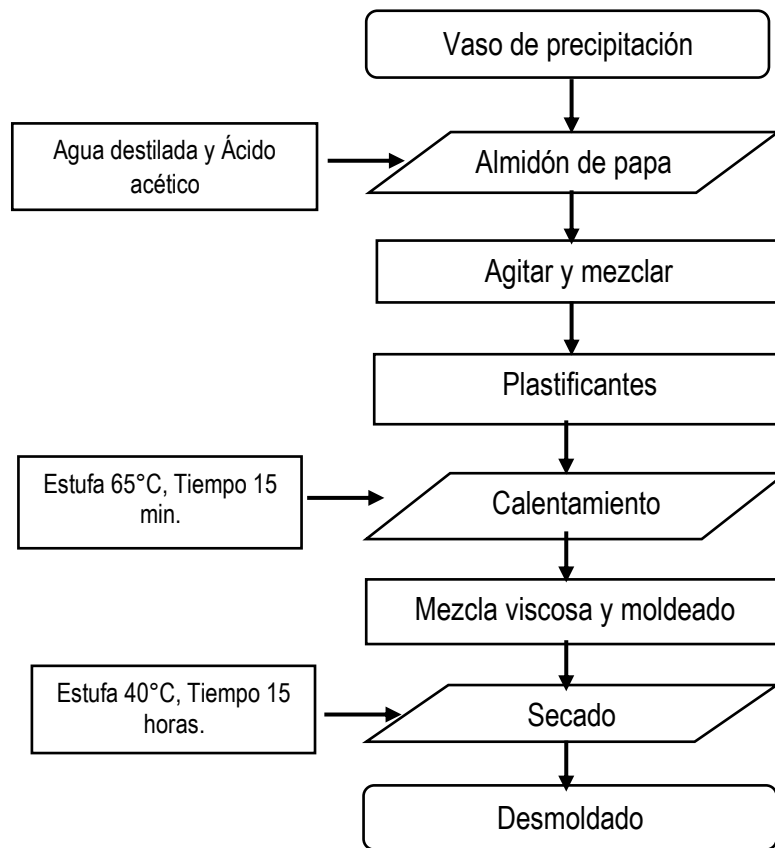


Figura 3.2. Diagrama de flujo para la elaboración de láminas biodegradables.  
Fuente: Charro (2015).

### • ACTIVIDAD 5. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES

La caracterización del almidón se realizó en el Laboratorio de Química Ambiental del área agroindustrial ESPAM MFL debido a que es importante distinguir entre propiedades físicas y químicas ya que se determina el comportamiento en el proceso al que será enviado. Dependerá de esto. Según los métodos componentes para cada análisis:

- **Humedad:** Consiste en eliminar toda el agua libre de la muestra por volatilización. Para determinar el porcentaje de humedad se aplicó la técnica descrita en la norma antes mencionada, la cual consiste en la determinación de humedad en harinas, esto según la norma INEN 1462. Primero se programó la estufa a 45 min a 130 °C.

Una vez que la estufa alcanzó la temperatura requerida (130 °C) se pesaron 2 g de la lámina y se depositó en el recipiente para luego ser llevado a la

estufa a 130 °C durante una hora. Se dejar enfriar en un desecador hasta que alcance temperatura ambiente. Después de que la muestra se haya enfriado, el residuo de polvo se reporta como sólidos totales y la pérdida de peso es como humedad (método indirecto) (INEN, 2018).

El porcentaje de humedad se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\%humedad = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \quad \text{[Ec. 3.1]}$$

**Donde:**

- **Pi** = peso inicial de la lámina.
- **Pf** = peso final de la lámina.
  
- **Solubilidad:** Es una medida que indica la cantidad máxima de soluto que se puede disolver en una determinada cantidad de solvente, a una determinada temperatura (Cusme y Gómez, 2019). Para realizar este análisis es necesario tener en cuenta el contenido inicial de materia seca (%) y la humedad, la cual se determina por gravedad secando muestras de láminas biodegradable a 105 °C en estufa por 24 horas. De las láminas se cortaron tres discos con un diámetro de 2 cm, se pesaron y se colocaron en un vaso de precipitados que contenía 50 mL de agua. El material se colocó en una incubadora con agitación a 20 °C y 62 rpm. Después de la incubación, las muestras de portaobjetos se retiraron del recipiente y se secaron en un horno a 105 °C durante 24 h para determinar los sólidos insolubles en agua y se expresó como un porcentaje de la materia seca inicial, como se observa en la ecuación 3.2.

$$\%solubilidad = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{[Ec. 3.2]}$$

**Donde:**

- **Pi** = peso inicial seco.
- **Pf** = peso final seco.
  
- **Permeabilidad al vapor de agua:** Según la norma ASTM E96 la permeabilidad al vapor de agua se define como la velocidad de transmisión de vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión parcial de vapor de agua, entre dos superficies específicas bajo



determinadas condiciones de temperatura y humedad. Para la medición de este parámetro se utilizó el método gravimétrico, basado en la norma ASTM E96, con las siguientes condiciones: 0 % HR dentro de la celda y 100 %  $\pm$  2 % fuera de la misma a una temperatura de 23 °C. Para esto se utilizó una cámara de temperatura y humedad controladas, lo anteriormente expuesto se llevó a cabo con la siguiente ecuación:

$$WVP = \frac{WVTR \times z}{S (HR_2 - HR_1)} \quad [\text{Ec. 3.3}]$$

**Donde:**

- **WVP=** es la permeabilidad al vapor de agua en ( $g * h^{-1} * m^{-1} * MPa^{-1}$ ).
  - **WVTR=** es la pendiente de la curva (g/h) sobre el área expuesta de la lámina ( $g/h * m^{-1}$ ).
  - **S=** es la presión de vapor de agua a la temperatura del ensayo (MPa) T=20 °C.
  - **HR<sub>2</sub>** = es la humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada ( $HR_2 = 75 \%$ ).
  - **HR<sub>1</sub>** = es la humedad relativa en el interior de la celda ( $HR_1 = 0 \%$ ).
  - **Z=** es el espesor en m.
- **Espesor:** A las láminas ya cortadas, se les midió el espesor con un calibrador pie de rey de apreciación 0,002 mm de nonio 1/50, en diez puntos distribuidos igualmente a lo ancho de la lámina en ángulo recto. En caso de necesidad, se condicionó la lámina biodegradable, sometiéndose durante 18 horas, mínimo a  $75 \pm 2 \%$  de humedad relativa y  $20 \pm 2 \text{ °C}$ , antes de la determinación del espesor.
  - **ACTIVIDAD 6. VERIFICACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS**

La biodegradabilidad se evaluó por el método gravimétrico para lo cual se consideró un periodo de tiempo de 20 días, divididos en 4, 10, 15 y 20 exponiendo las láminas en el suelo bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas a las cuales se le evaluó la pérdida de peso en los días antes mencionados. Las películas tenían dimensiones de 2,5 cm x 2,5 cm. Éstas se evaluaron a 2 cm de profundidad (condiciones aeróbicas) y a 12 cm de profundidad del suelo (condiciones anaeróbicas).

El suelo utilizado para esta prueba fueron los terrenos cercanos al lugar de experimentación (vivero de la ESPAM “MFL”). Se calculó la pérdida de peso aplicando la ecuación 3.4.

$$\%p\acute{e}rdida\ de\ peso: \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \text{ [Ec. 3.4]}$$

**Donde:**

- **P<sub>i</sub>** = peso inicial seco.
- **P<sub>f</sub>** = peso final seco.

### ● **ACTIVIDAD 7. ELABORACIÓN DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES**

Para la elaboración de las bolsas plásticas biodegradables, se sometieron al calor, las cuales se estamparon a través de una máquina selladora, utilizando la técnica de pulso, aplicando una temperatura de 154 °C por un tiempo de 1,84 segundos. De esta manera se elaboraron las bolsas biodegradables, las cuales se sometieron a pruebas físicas para conocer la resistencia a la tracción y elongación a la rotura como lo señala la norma NTE INEN 2290 2015-12.

- **Resistencia a la tracción:** Según la norma INEN 2637, el ensayo de tracción ayuda a determinar el punto final de descomposición, es decir, el punto de rotura de películas y láminas biodegradables de polietileno/polipropileno. Las propiedades del alargamiento a la tracción pueden variar según el grosor de la pieza de prueba, el método de preparación, la velocidad de prueba, el tipo de abrazadera utilizada y el método de medición del alargamiento de prueba. Por lo tanto, esta prueba muestra la resistencia y el esfuerzo de tracción que puede soportar el material en cuestión.
- **Elongación a la rotura:** Según Charro (2015) mide el aumento de longitud de la lámina cuando esta se expone a un esfuerzo de tracción antes de que se produzca su rotura. El alargamiento se expresa en porcentaje (%) con respecto a la longitud inicial.

La tabla 3.4, detalla los requisitos físicos de la norma NTE INEN 2290 2015-12.

**Tabla 3.4.** *Requisitos físicos de la película plástica.*

Clasificación	Características	Unidades	Métodos de ensayo	Dirección	Rango	
Domésticas	Resistencia a la tracción	MPa	ASSTM D 882	DM	≥22	≤25
				DT	≥17	≤20
	Elongación a la rotura	%		DM	≥300	≤400
				DT	≥250	≤300

Fuente: INEN (2015).

### 3.8.3 FASE III. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MEJOR TRATAMIENTO EN LA ELABORACIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLE

#### ● ACTIVIDAD 8. ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES

Para la elaboración de las bolsas plásticas biodegradables se tomó en cuenta el mejor tratamiento y de esta manera se realizó un análisis económico, el mismo que se estableció a través de una matriz teniendo en cuenta los recursos y elementos necesarios para la elaboración del producto (Monferrer, 2013), para esto se consideró los siguientes parámetros:

- **Costo directo (Cd):** Materiales (se especificarán los materiales utilizados para producir materiales biodegradables). Costo laboral (este valor se determina de acuerdo con la Ley de Salario Básico, con el salario mínimo correspondiente a la jornada de 8 horas diarias, según lo determine el Control General del Estado (2022). Materiales (donde se estima el valor de los materiales utilizados para producir materiales biodegradables). Membrete (primero el nombre del proyecto a desarrollar, detalles del artículo a presentar y unidades de medida establecidas).
- **Costo indirecto (Ci):** Se tomarán en cuenta los costos adicionales (mano de obra, energía eléctrica, impuestos) que afectan indirectamente al proceso productivo de la elaboración del material biodegradable.
- **Costo Total (Ct):** Es la suma del Costo Directo más el Costo Indirecto, tal como se detalla en la ecuación 3.5

$$Ct = (Cd + Ci) \text{ [Ec. 3.5]}$$

**Donde:**

- **Cd** = costo directo.
  - **Ci** = costo indirecto.
  - **Ct** = costo total.
- **ACTIVIDAD 9. COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES**

En esta actividad se presentó el costo por unidad de las bolsas obtenidas a partir del almidón de papa, tomado como referencia al mejor de los tratamientos. Esto se realizó puesto que desde el punto de vista académico se espera fomentar y dar a conocer el material biodegradable como solución para mejorar las condiciones de vida en el planeta.

### 3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un arreglo factorial  $2^2$  analizado por la vía de diseño completamente al azar (DCA), con un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones por cada uno de estos, obteniendo un total de 12 unidades experimentales. Este diseño se aplicó en dos ocasiones. En primera instancia se lo aplicó para analizar los datos de las variables de las láminas que se utilizaron para elaborar fundas degradables. Posteriormente se evaluaron las características de las fundas como producto final. En la tabla 3.5 se detalla las fuentes de variación del análisis de varianza.

**Tabla 3.5.** Fuentes de variación del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A	1
Factor B	1
Interacción AxB	1
Error experimental	8
Total	11

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó utilizando el software IBM SPSS versión 21 para el análisis de las variables respuestas.

- A las variables dependientes de: Humedad, solubilidad, espesor y permeabilidad, resistencia a la tracción y elongación, se les efectuó los

supuestos del ANOVA, normalidad con el test estadístico de Shapiro Wilk y homogeneidad con el Levene.

- A todas las variables se les efectuó análisis de varianza en función de los tratamientos para ver el efecto de los factores en estudio.
- Se aplicó gráficos de barras donde se reflejó las medias para establecer la incidencia de los niveles de los factores en estudio sobre las variables respuestas: Humedad, solubilidad, espesor y permeabilidad, resistencia a la tracción y elongación
- Posteriormente a los tratamientos se le aplicó la prueba de comparaciones múltiples Tukey al 5 % de probabilidad de error, con la finalidad de agrupar las medias en subconjuntos homogéneos, lo que permitió establecer cuál de los tratamientos aplicados de acuerdo a las variables analizadas fue el mejor.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA LA REALIZACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO BIODEGRADABLE.

La papa superchola (*Solanum tuberosum* L.) objeto de estudio por su almidón, fue sometida a ensayos fisicoquímicos en el laboratorio de bromatología de la Universidad Técnica de Manabí, donde se determinaron parámetros como: humedad, cenizas, proteínas y grasas, resultados que se presentan en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Composición de la variedad de papa superchola.

PARÁMETROS	VALORES PORCENTUALES
Humedad	81,70%
Cenizas	3,58%
Grasas	0,26%
Proteínas	2,02%
Amilosa	16%

Fuente: Laboratorios de bromatología (UTM).

Estos tubérculos de papa fueron adquiridos en el mercado del cantón Tosagua, mismos que tuvieron forma redondeada, piel de color amarilla y la pulpa de color crema y amarillo, esta materia prima tuvo como resultados valores porcentuales de humedad de 81,70 %; ceniza 3,58 %, grasa 0,26 %, proteínas 2,02 % y amilosa de 16 %. Estos resultados (tabla 9) son similares a los reportados por Pertuz (2021) quien caracterizaron tubérculos de papa, obteniendo rangos de humedad entre 72,45 - 80,83 % y amilosa entre 14,05 – 49 %.

Por otra parte, Cerón et al. (2018) en su investigación de similares índoles, reportaron valores de 2,56 % de cenizas para papa criolla y en un genotipo testigo de papa criolla colombiana, obtuvieron un promedio de 1,32 %, mientras que, Peña et al. (2017) reportaron que para papa de la especie *phureja*, obtuvieron, valores de cenizas desde 0,7 a 1,1 %. Es importante mencionar que, la variación de los datos en relación a este parámetro (ceniza) se atribuyeron a que los genotipos en estudio tuvieron un amplio rango en el contenido mineral, debido a las condiciones del suelo y características genéticas de fijación de micronutrientes, son una fuente significativa de los parámetros físico-químicos (Cerón et al., 2018).

## 4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PARA LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES

### ● SUPUESTOS DE ANOVA PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO

Con el propósito de verificar la distribución de los datos obtenidos en la caracterización fisicoquímica de las láminas de plástico a base de almidón de papa y glicerina como factores en estudio, se procedió a realizar en primera instancia, el supuesto de normalidad (tabla 4.2.).

**Tabla 4.2.** Supuesto de normalidad para las variables en estudio.

Variables dependientes	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Humedad (%)	T1	0,964	3	0,637
	T2	0,923	3	0,463
	T3	0,987	3	0,78
	T4	1	3	1
Solubilidad (%)	T1	0,842	3	0,22
	T2	0,881	3	0,328
	T3	0,997	3	0,9
	T4	0,98	3	0,726
Espesor (mm)	T1	0,974	3	0,688
	T2	1	3	1
	T3	1	3	1
	T4	1	3	1
Permeabilidad (gs <sup>1</sup> m <sup>1</sup> Pa <sup>1</sup> )	T1	0,893	3	0,363
	T2	0,98	3	0,726
	T3	0,997	3	0,9
	T4	0,964	3	0,637

Fuente: Autores.

La prueba estadística (tabla 4.2.) indicó que los datos para las variables en estudio: humedad, solubilidad y espesor, presentaron una distribución normal al demostrar una significancia mayor a 0,05, por lo cual estos datos fueron analizados mediante el supuesto de homogeneidad de varianza, mismo que se muestra en la tabla 4.3., donde se puede observar que la varianza de las variables dependientes es igual en el conjunto de la población definida por la combinación de los factores en estudio ( $p > 0,05$ ) por lo cual, se procede con el análisis de varianza (pruebas paramétricas).

**Tabla 4.3.** Prueba de homogeneidad de varianza para los datos de las variables dependientes.

<b>Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error<sup>a</sup></b>				
<b>Variables dependientes</b>	<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
Humedad	1,711	3	8	0,242
Solubilidad	0,267	3	8	0,847
Espesor	1,868	3	8	0,213
Permeabilidad	0,489	3	8	0,7

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de las variables dependientes son igual a lo largo de todos los grupos  
a. Diseño: Intersección + Tratamientos

Fuente: Autores.

#### 4.2.1. HUMEDAD

Como se aprecia en la tabla 4.4., el análisis de ANOVA indicó que existe diferencia estadísticamente significativa en lo efectos principales del modelo estadístico para la variable humedad, donde el factor A (cantidad de almidón), B (porcentaje de glicerina) y la interacción entre ambos, mostraron una significancia menor de 0,05, indicando que por separado y en conjunto, inciden en los porcentajes de humedad de las láminas (tratamientos).

**Tabla 4.4.** Análisis de ANOVA para la variable humedad.

<b>Pruebas de los efectos inter-sujetos</b>					
<b>Variable dependiente: Humedad</b>					
<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Factor A:</b> Cantidad de almidón	160,016	1	160,016	177795,593	0,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de glicerina	2,253	1	2,253	2503,704	0,000
Gramos de almidón * Porcentaje de glicerina	10,83	1	10,83	12033,333	0,000
Error	0,007	8	0,001		
Total corregida	173,107	11			

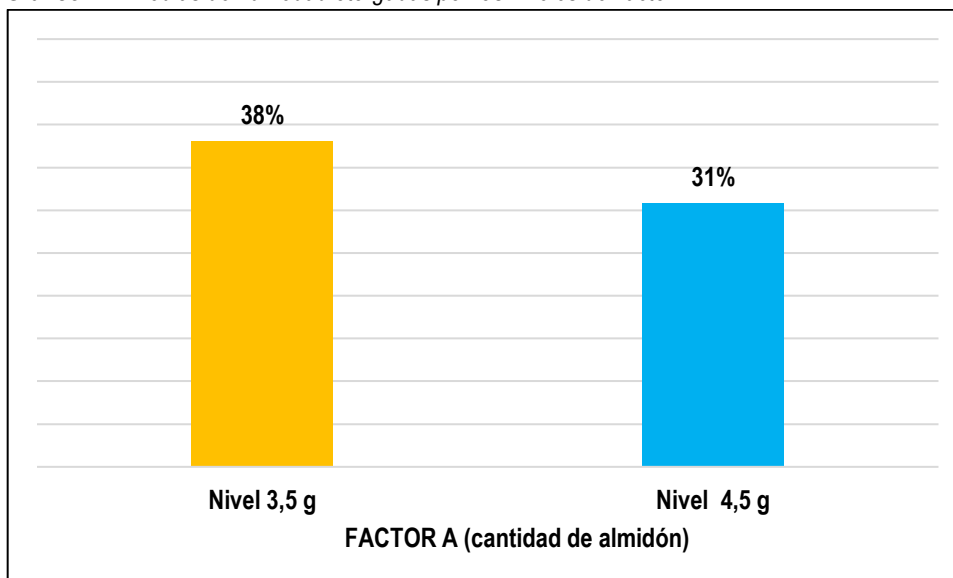
a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)

Fuente: Autores.

Para establecer la incidencia de los niveles del factor A (gramos de almidón) sobre la variable respuesta (humedad), se aplicó un gráfico de barras reflejando las medias de los niveles del factor, donde el nivel 3,5 g de almidón de papa superchola otorgó la mayor media porcentual de humedad a las láminas (38 %), mientras que el nivel 4,5 g de proporcionó la menor (31 %), tal y como se lo puede apreciar en el gráfico 4.1.



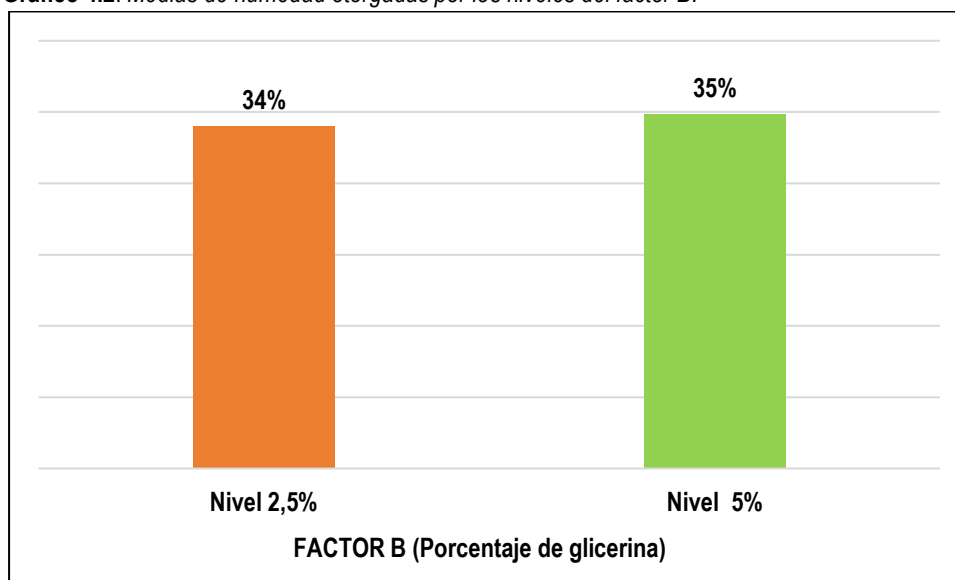
**Gráfico 4.1.** Medias de humedad otorgadas por los niveles del factor A.



Fuente: Autores.

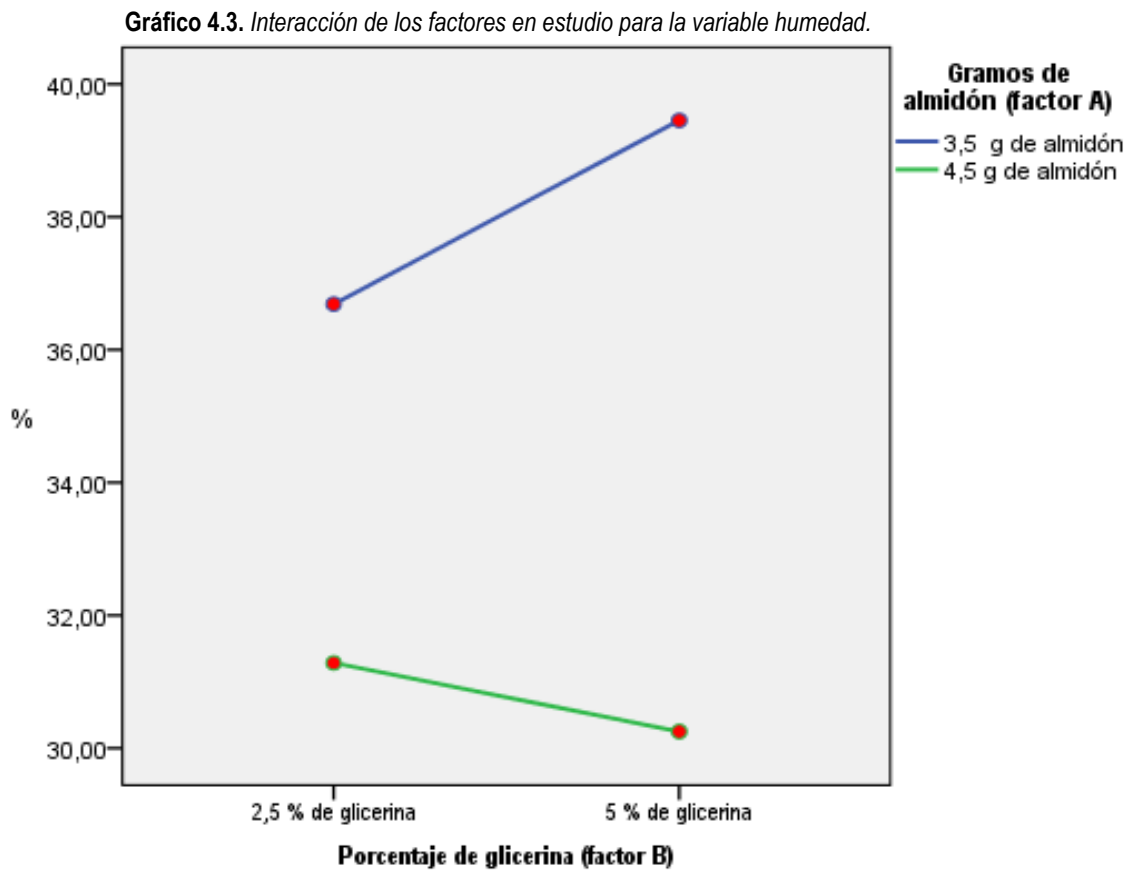
En cuanto a los niveles del factor B, el análisis demostró que la adición de glicerina al 2,5 % proporcionó menor humedad a las láminas (34 %), mientras que el nivel de 5 % otorgó una mayor media (35 %) para esta variable, tal y como lo demuestra en el gráfico 4.2.

**Gráfico 4.2.** Medias de humedad otorgadas por los niveles del factor B.



Fuente: Autores.

Por otra parte, la interacción de los factores en estudio sobre la variable humedad, demostró que el nivel 3,5 g de almidón ( $a_1$  - factor A) en interacción con los niveles del factor B:  $b_1$ : 2,5 % y  $b_2$ : 5 % de glicerina, proporcionaron mayor humedad a las láminas, destacando la interacción  $a_1b_2$  con las mayores medias para esta variable tal y como se lo puede apreciar en el gráfico 4.3.



Fuente: Autores.

La humedad de las láminas está relacionada con la permeabilidad, es decir, entre mayor sea esta, existe más susceptibilidad a la transferencia de vapor de agua del ambiente. Esto se vuelve de vital importancia, debido a que la función principal de un material de envasado es controlar este fenómeno entre el alimento y la atmósfera circundante, o entre dos componentes de un producto alimenticio heterogéneo, para ello la permeabilidad debe ser baja para que simultáneamente lo sea la humedad (Ríos et al., 2017).

Guamán (2019) indica que las láminas de bioplástico deben contener una humedad entre 19,3 a 22,1 %; sin embargo, en su investigación, donde obtuvo un plástico biodegradable a partir de almidón de cascara de papa, mencionó que es aceptable

entre 25,95 a 42,71 % indicando que las diferencias en cuanto a esta variable pueden estar relacionadas a partir de la materia prima con la cual se elaboraran las láminas.

Para demostrar las diferencias entre los tratamientos se aplicó la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 %, misma que con base a las medias del porcentaje de humedad, categorizó a los tratamientos, donde el T<sub>4</sub> se posicionó en el subconjunto uno con la menor media para esta variable (30,25 %) mientras que el T<sub>1</sub> (36,68 %) y T<sub>3</sub> (39,45 %) se ubicaron en la categoría tres con las mayores medias porcentuales de humedad. En este sentido, y como se lo puede apreciar, los tratamientos con mayor proporción de almidón, presentaron un porcentaje de humedad más bajo.

**Tabla 4.5.** Análisis de Tukey para la variable humedad (%) en función de los tratamientos.

DHS de Tukey <sup>a,b</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
T4	3	30,25		
T2	3		31,28	
T1	3		36,68	36,68
T3	3			39,45
Sig.		1	0,079	0,738

Fuente: Autores.

#### 4.2.2. SOLUBILIDAD

La tabla de ANOVA (tabla 4.6.) demostró diferencias estadísticamente significativas ( $\text{sig.} < 0,05$ ) en los efectos principales del modelo estadístico, donde el factor A (Cantidades de almidón) presentó diferencias estadísticas ( $\text{sig.} < 0,05$ ), es decir, en sus niveles, incidió sobre la variable solubilidad. En cuanto al factor B (porcentaje de glicerina), este infirió en sus niveles sobre la variable respuesta ( $\text{sig.} < 0,05$ ). Por su parte, la interacción de ambos factores, presentó diferencias altamente significativas ( $\text{sig.} < 0,05$ ), demostrando que este efecto, lleva asociado un nivel crítico, indicando que, en conjunto, inciden de gran manera sobre la solubilidad de los tratamientos.

**Tabla 4.6.** Análisis de ANOVA para la variable solubilidad.

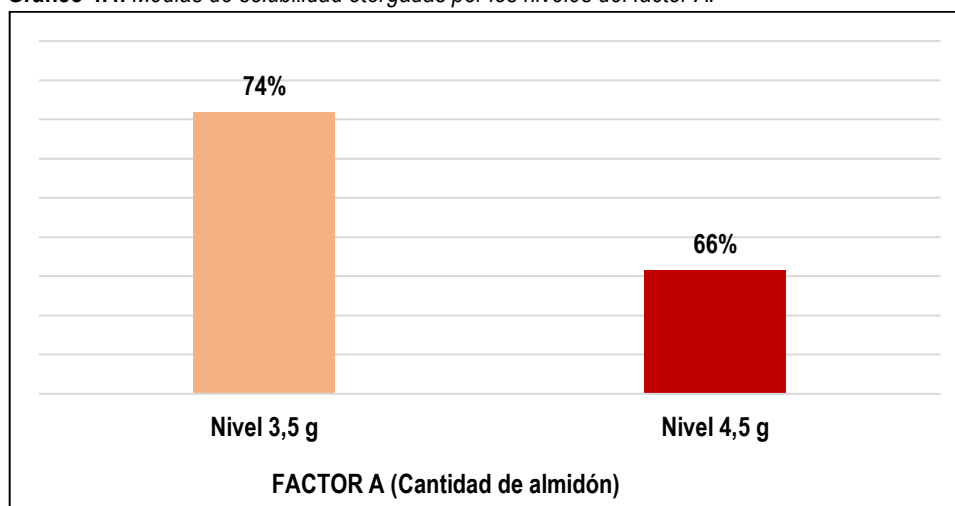
Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Solubilidad					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Factor A:</b> Cantidad de almidón	194,327	1	194,327	77730,803	0,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de glicerina	0,414	1	0,414	165,763	0,000
Gramos de almidón * Porcentaje de glicerina	175,644	1	175,644	70257,603	0,000
Error	0,02	8	0,003		
Total corregida	370,405	11			

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)

Fuente: Autores.

Para establecer la incidencia que tuvo el factor A (cantidad de almidón) sobre la variable solubilidad, se aplicó un gráfico de barras reflejando las medias para los niveles del factor en cuestión (gráfico 4.4.), donde la cantidad de 3,5 g aportó la mayor media de solubilidad (74 %), y los 4,5 g de almidón de papa superchola, contribuyó con un 66 % a las láminas.

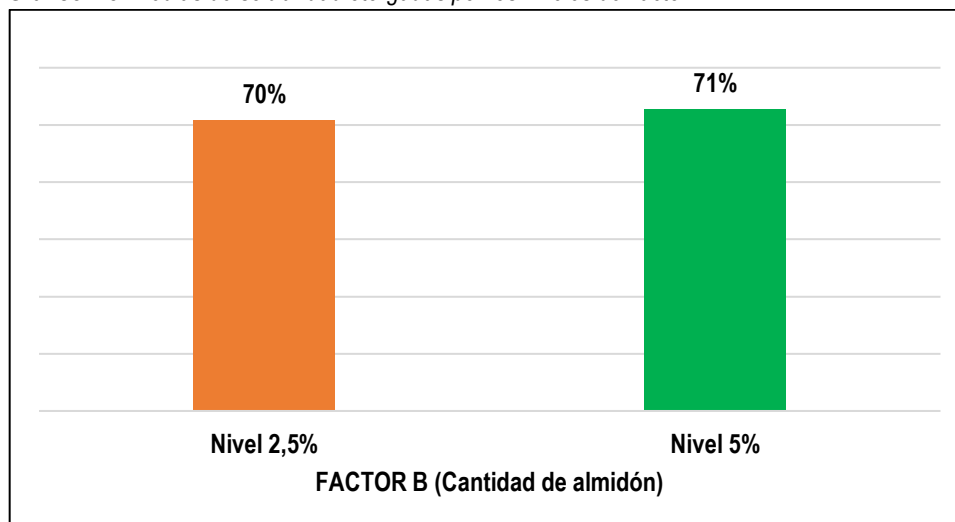
**Gráfico 4.4.** Medias de solubilidad otorgadas por los niveles del factor A.



Fuente: Autores.

Respecto a los niveles del factor B (porcentaje de glicerina), el análisis indicó que, la glicerina al 2,5 % otorgó un 70 % de humedad a las láminas, mientras que la 5 % proporcionó un 71 % tal y como se lo demuestra en el gráfico 4.5.

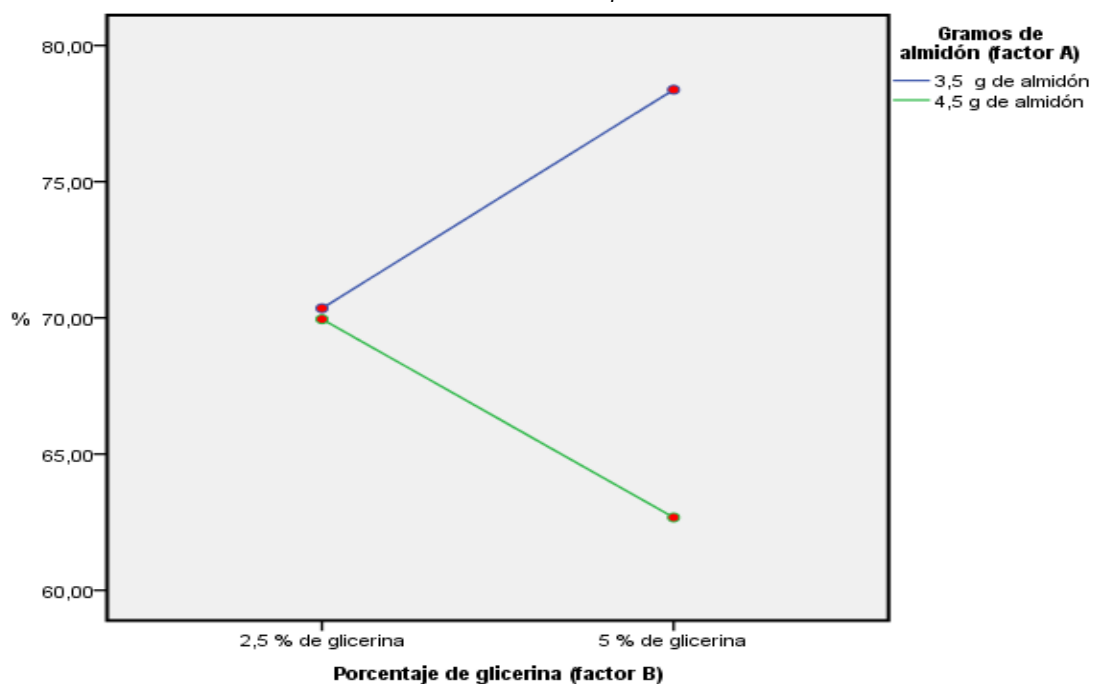
**Gráfico 4.5.** Medias de solubilidad otorgadas por los niveles del factor B.



Fuente: Autores.

En cuanto a la interacción de ambos factores sobre la variable en estudio, el gráfico 4.6 demostró que el nivel  $a_1$ : 3,5 g de almidón (factor A) en conjunto con el nivel  $b_2$ : 5 % de glicerina (factor B), proporcionaron las mayores medias de solubilidad en las láminas; sin embargo, se puede observar que la interacción entre el nivel  $b_2$ : 5 % de glicerina y  $a_2$ : 4,5 g de almidón, presentaron una menor media de solubilidad a las láminas.

**Gráfico 4.6.** Interacción de los factores en estudio para la variable humedad.



Fuente: Autores.

Para demostrar las diferencias entre los tratamientos se aplicó la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 % de error, misma que con base en las medias porcentuales de solubilidad, categorizó a los tratamientos, donde T<sub>4</sub> se ubicó en el subconjunto uno con la media porcentual más baja para esta variable (62,6783 %), mientras que el T<sub>3</sub> se ubicó en la categoría cuatro con la mayor media, con un valor de 78,3733 %

**Tabla 4.7.** Análisis de Tukey para la variable solubilidad (%).

DHS de Tukey <sup>a,b</sup>					
Tratamientos	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
T4	3	62,6733			
T2	3		69,9533		
T1	3			70,3500	
T3	3				78,3733
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Fuente: Autores.

El análisis demostró que, a mayor proporción de almidón en las películas, menor era la solubilidad, lo que se debió a la complejidad estructural ocasionada por el polímero, aunque Kaisangsri et al. (2014) indican que, la solubilidad también está relacionada con la presencia de enlaces covalentes y sus interacciones que reducen la solubilidad en agua de los bioplásticos. De este modo, las películas que poseía 4,5 g de almidón de papa mostraron los valores porcentuales de solubilidad más bajos debido a la mayor presencia de enlaces covalentes, lo que también puede ser explicado con base a posibles compuestos bioactivos solubles presentes en el almidón (Mayo et al., 2020).

Para el presente estudio se buscaba una menor solubilidad, debido a que esta característica es determinante en la elaboración de fundas; porque de acuerdo con Gutiérrez (2019) esto le concede al bioplástico poder disminuir la transferencia de humedad circundante al medio ambiente.

#### 4.2.3. ESPESOR

El ANOVA demostró diferencias estadísticamente significativas ( $sig. < 0,05$ ) para el factor A (Cantidades de almidón), es decir, en sus niveles, incidió sobre la variable espesor de las láminas. En cuanto al factor B (porcentaje de glicerina), este no presentó diferencias estadísticas ( $sig. > 0,05$ ), lo que significa que los porcentajes

de glicerina, no influyeron sobre el espesor. En cuanto a la interacción de ambos factores, ésta presentó diferencias altamente significativas ( $sig < 0,05$ ), demostrando que este efecto, lleva asociado un nivel crítico, indicando que, en conjunto, inciden de gran manera sobre el espesor de las láminas, tal y como se lo muestra en la tabla 4.8.

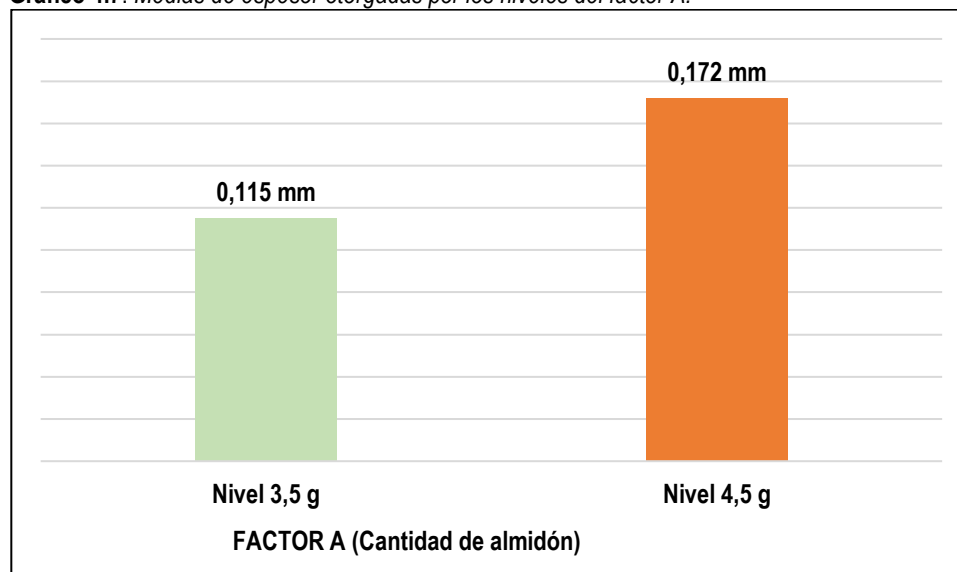
**Tabla 4.8.** Análisis de ANOVA para la variable espesor (mm).

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Espesor					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Factor A:</b> Gramos de almidón	,010	1	,010	532,719	0,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de glicerina	1,333E-06	1	1,333E-06	,074	0,793
Gramos de almidón * Porcentaje de glicerina	,001	1	,001	39,005	0,000
Error	,000	8	1,808E-05		
Total corregida	,010	11			

Fuente: Autores.

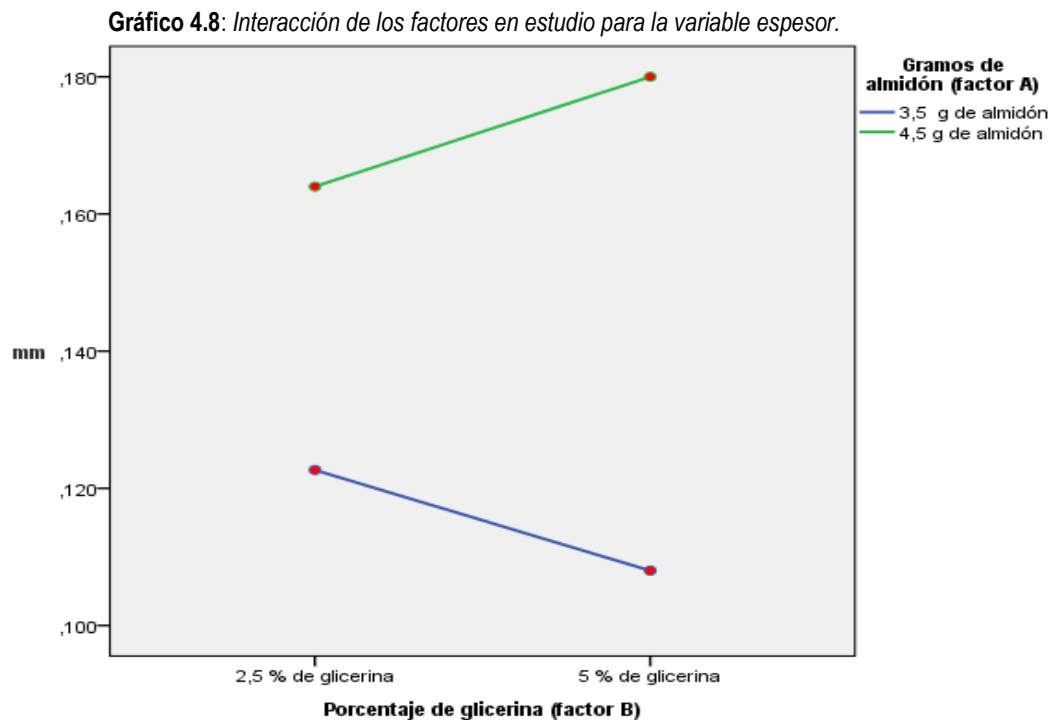
Para demostrar la incidencia de los niveles del factor A sobre el espesor de las láminas, se aplicó un gráfico de barra mostrando las medias (gráfico 4.7.), donde se observa que el nivel de 4,5 g de almidón de papa, aportó un promedio de espesor más alto (0,172 mm) a las láminas, mientras que la cantidad de almidón 3,5 demostró una media de 0,115 mm.

**Gráfico 4.7.** Medias de espesor otorgadas por los niveles del factor A.



Fuente: Autores.

La interacción de los factores en estudio, demostró que, el nivel  $b_2$ : 5 % de glicerina (factor B) y  $a_2$ : 4,5 g de almidón (factor A) proporcionaron mayor espesor a las láminas seguido de la relación  $a_2$  (4,5 g de almidón),  $b_1$  (2,5 % de glicerina), tal y como se lo puede apreciar en el gráfico 4.8.



Fuente: Autores.

El análisis demostró que el nivel 4,5 g de almidón concedió las mayores medias de espesor a las láminas, mismo que coincide con lo manifestado por Cortés et al. (2014) quienes, en su investigación de similares índoles, manifiestan que esta característica está determinada en gran medida por la cantidad de almidón utilizado en la formulación y en menor proporción por el material plastificante. Según Holguín (2019) un aumento del espesor de las películas plásticas mejora su resistencia mecánica y reduce el efecto de las microporosidades, reduciendo además la permeabilidad.

En esta investigación se obtuvieron rangos de espesor entre 0,32 y 0,54 mm, mismos que son superiores a los establecidos por la norma NTE INEN 2636 (2012), especificada para Terminología Relativa a Plásticos Degradables, la cual manifiesta que una película debe poseer un espesor no mayor de 0,25 mm (0,01 pulgadas).

Las diferencias entre los tratamientos se determinó mediante la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 % de error, misma que categorizó las



medias de espesor, donde el T<sub>3</sub> se posicionó en la categoría uno con la menor media (0,324 mm), mientras que el T<sub>4</sub> se ubicó en el subconjunto cuatro con el mayor espesor para la lámina (0,540 mm), tal y como se presenta en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9.** Análisis de Tukey para la variable espesor (mm).

DHS de Tukey <sup>a,b</sup>					
Tratamientos	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
T3	3	0,324			
T1	3		0,368		
T2	3			0,492	
T4	3				0,540
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Fuente: Autores.

#### 4.2.4. PERMEABILIDAD

Como se aprecia en la tabla 4.10, el análisis de ANOVA indicó que existe diferencia estadísticamente significativa en los efectos principales del modelo, así, el factor A (cantidades de almidón) presentó diferencias altamente significativas, indicando que las cantidades de almidón propuestas incidieron sobre la permeabilidad de las láminas. Por otra parte, el factor B (porcentaje de glicerina) en sus niveles, de igual manera incidió sobre la variable respuesta, debido a que presentó una significancia menor de 0,05, mientras que la interacción de ambos factores sobre la permeabilidad de las láminas, fue significativa (sig.< 0,05).

**Tabla 4.10.** Análisis de ANOVA para la variable permeabilidad.

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Permeabilidad					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Factor A:</b> Gramos de almidón	,097	1	,097	61,714	0,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de glicerina	,009	1	,009	5,418	0,048
Gramos de almidón * Porcentaje de glicerina	,023	1	,023	14,307	0,005
Error	,013	8	,002		
Total corregida	,141	11			

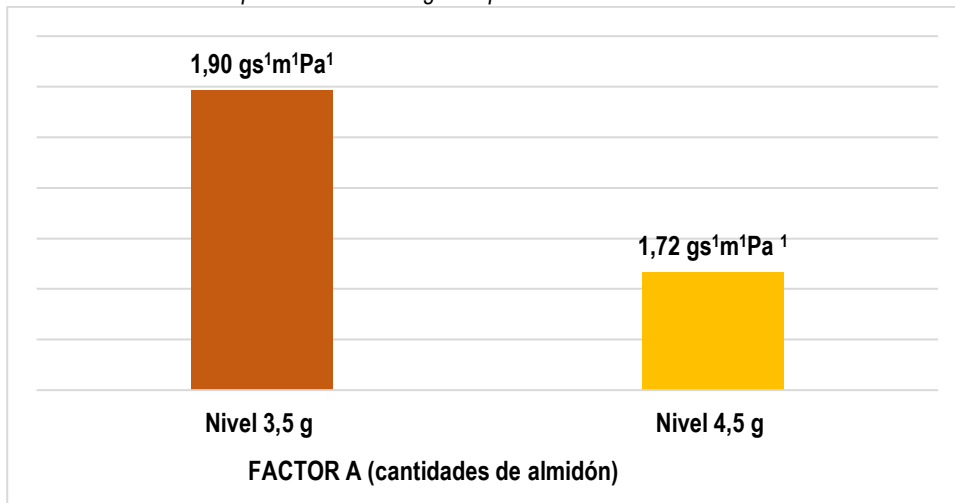
a. R cuadrado = ,911 (R cuadrado corregida = ,877)

Fuente: Autores.

Para establecer la incidencia que tuvieron los niveles del factor A (Cantidades de almidón) sobre la variable respuesta (permeabilidad), se aplicó un gráfico de barras revelando las medias de los niveles del factor, donde la cantidad de 4,5 g de almidón de papa superchola, otorgó menor permeabilidad al agua, tal y como se lo

muestra en el gráfico 4.9., mientras que el nivel 3,5 g de almidón, fue quien presentó los mayores promedios en cuanto a esta variable.

**Gráfico 4.9.** Medias de permeabilidad otorgadas por los niveles del factor A.



Fuente: Autores.

El análisis demostró que, a mayor cantidad de almidón, la permeabilidad en las láminas disminuye, lo cual, según Cortés et al. (2014) se debe a los grupos hidroxipropil presentes en el almidón que se adhieren durante la elaboración de la película, sustituyendo y disminuyendo los grupos hidroxilo capaces de interactuar con moléculas de agua dificultando la transmisión e interacción. Estos mismos autores, indican que la permeabilidad, también se ve afectada por el espesor de las láminas, mismo que está condicionado cuando se utilizan polisacáridos y componentes hidrofílicos como el glicerol, los cuales, en mezcla, presentan fenómenos de transporte complejos.

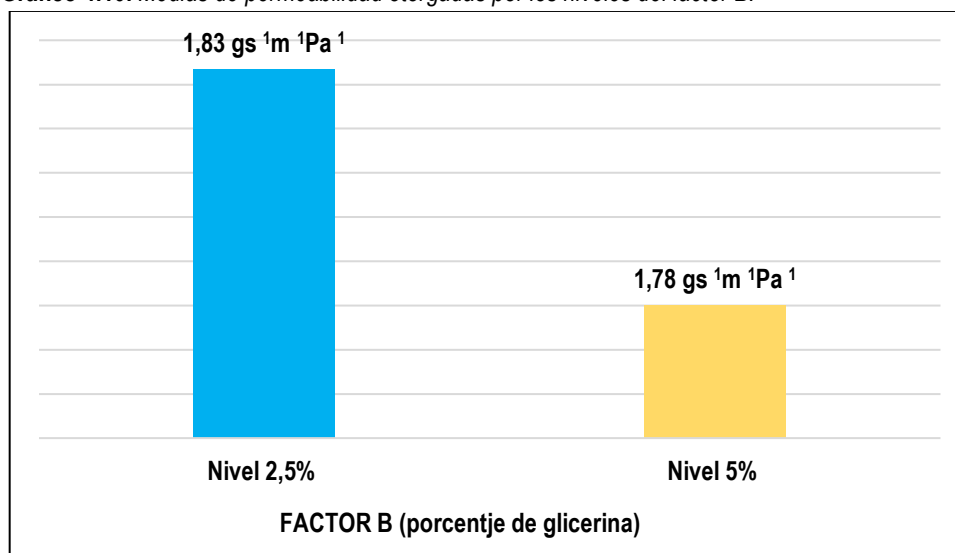
Por otra parte, Palma et al. (2017) mencionan que el porcentaje de proteínas presentes en las materias primas (almidón), reportan una ligera reducción numérica en los valores de PVA, atribuyendo este comportamiento a una mejor distribución de la proteína en la matriz de la película, lo que dificulta el paso de las moléculas de agua, dicho fenómeno podría estar pasando en las películas aquí analizadas.

En la misma línea, Holguín (2019) quien elaboró un lámina a partir de almidón de papa, indicó que, las características del almidón están relacionadas directamente con la permeabilidad, puesto que un polímero modificado de forma química; supone la sustitución de los hidrógenos presentes en los grupos hidroxilos de la molécula de la amilosa, lo que permitiría un aumento en la resistencia de la película y la

compatibilidad con algunos productos hidrofóbicos, en comparación con el proceso tradicional para la obtención de almidón, esto quizá también pudo incidir sobre la permeabilidad en las láminas, donde el almidón utilizado se lo obtuvo a nivel de laboratorio sin el proceso de beneficios (fermentado y secado al sol).

En cuanto al factor B, el análisis demostró que la adición de glicerina al 5 % proporcionó menor permeabilidad a las láminas, mientras que el nivel de 2,5 % otorgó mayores medias para esta variable, tal y como lo demuestra en el gráfico 4.10.

**Gráfico 4.10.** Medias de permeabilidad otorgadas por los niveles del factor B.

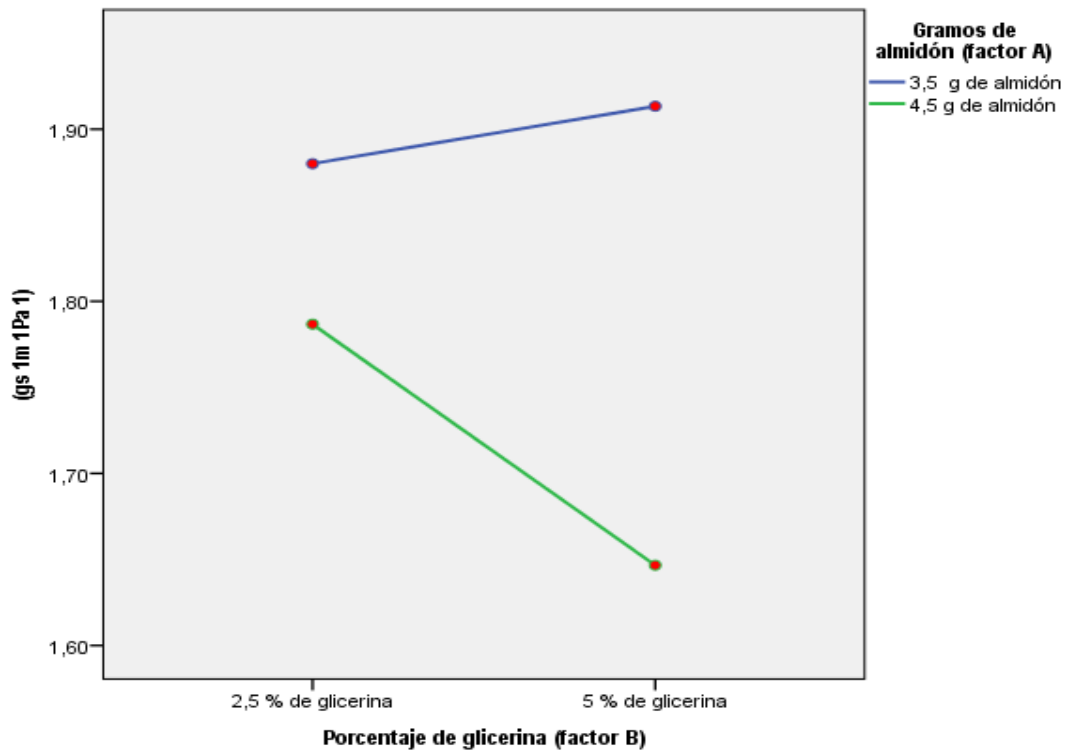


Fuente: Autores.

Los plastificantes como el glicerol, disminuyen las atracciones intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes aumentando la flexibilidad de la película, en este sentido, el glicerol permite que el producto final incremente su permeabilidad al vapor debido a su naturaleza hidrofílica, el cual fácilmente forma puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, modificando así las propiedades de barrera de estas películas; sin embargo, de acuerdo a Holguín (2019) quien elaboró un bioplástico a partir de almidón de papa, a pesar de las características de la glicerina para formar puentes de hidrógeno gracias a sus tres grupos hidroxilo, la permeabilidad de un bioplástico estará en función de las cantidades utilizadas de polisacárido (almidón) y glicerina, esto finalmente determinará la permeabilidad.

En cuanto a la interacción de factores en relación a variable permeabilidad, el análisis demostró que el nivel  $a_1$ : 4,5 g de almidón (factor A) presenta las menores medias de permeabilidad en las láminas, condición necesaria para este estudio. Esta propiedad se vio favorecida por la mayor cantidad de almidón (4,5) y de glicerina (5 %), tal y como lo demuestra el gráfico 4.11.

**Gráfico 4.11.** Interacción de los factores en estudio para la variable permeabilidad.



Fuente: Autores.

Las diferencias entre los tratamientos se determinaron mediante la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 % de error, misma que categorizó las medias de espesor de los tratamientos, T<sub>4</sub> se ubicó en el subconjunto uno con una media de 1,6467 (gs 1m 1Pa 1), mientras que el T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> compartieron categorías con las mayores medias de permeabilidad, como se observa en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11.** Análisis de Tukey para la variable permeabilidad (gs 1m 1Pa 1).

DHS de Tukey <sup>a,b</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
T4	3	1,6467		
T2	3		1,7867	
T1	3		1,8800	1,8800
T3	3			1,9133
Sig.		1,000	,079	,738

Fuente: Autores.

Las cuatro láminas a base de almidón y glicerina presentadas en esta investigación, fueron utilizadas para la elaboración de fundas; sin embargo, los mejores tratamientos para estos procesos, fueron los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>3</sub>, debido a que contenían una mayor proporción de almidón, lo que les concedió mejores características fisicoquímicas y estructurales.

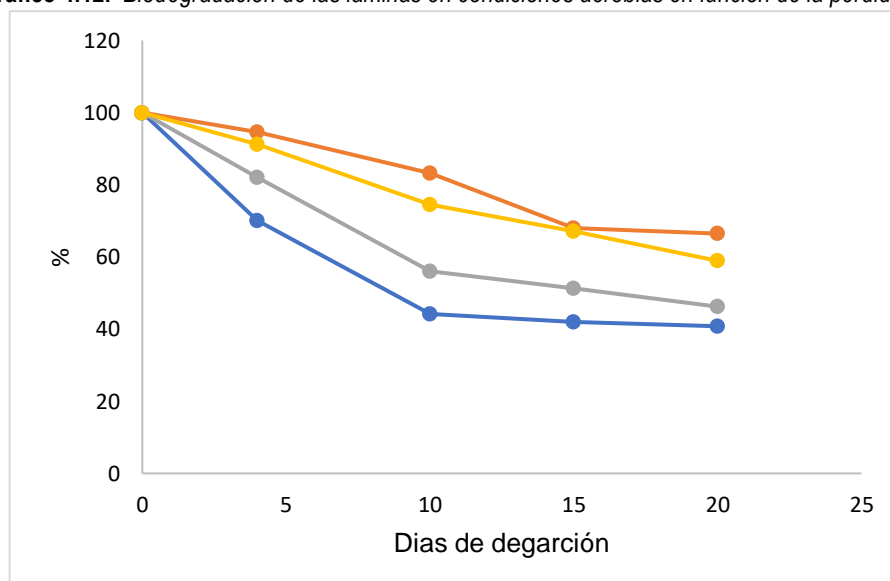
### 4.3. DEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Se elaboraron láminas con dimensiones de 2,5 cm<sup>2</sup>, las cuales fueron evaluadas en términos de biodegradabilidad midiendo su pérdida de peso en función del tiempo (4, 10, 15 y 20 días) bajo condiciones aerobias y anaerobias en los predios de la ESPAM “MFL”.

#### ● DEGRADACIÓN EN CONDICIONES AEROBIAS

Las láminas correspondientes a los tratamientos, fueron evaluadas en condiciones aerobias, para lo cual se enterraron en el suelo del vivero de la ESPAM “MFL” a dos centímetros de profundidad. Estas fueron evaluadas determinando su peso en los días 4, 10, 15 y 20, notándose una clara degradabilidad (ver anexo 1-C) traducida en porcentaje por pérdida de masa, lo cual se muestra en el gráfico 4.12, donde se aprecia que el T<sub>1</sub> (41 %) y T<sub>3</sub> (46 %), fueron los tratamientos con mayor pérdida de peso y, por ende, mayor degradación.

**Gráfico 4.12.** Biodegradación de las láminas en condiciones aerobias en función de la pérdida de peso.



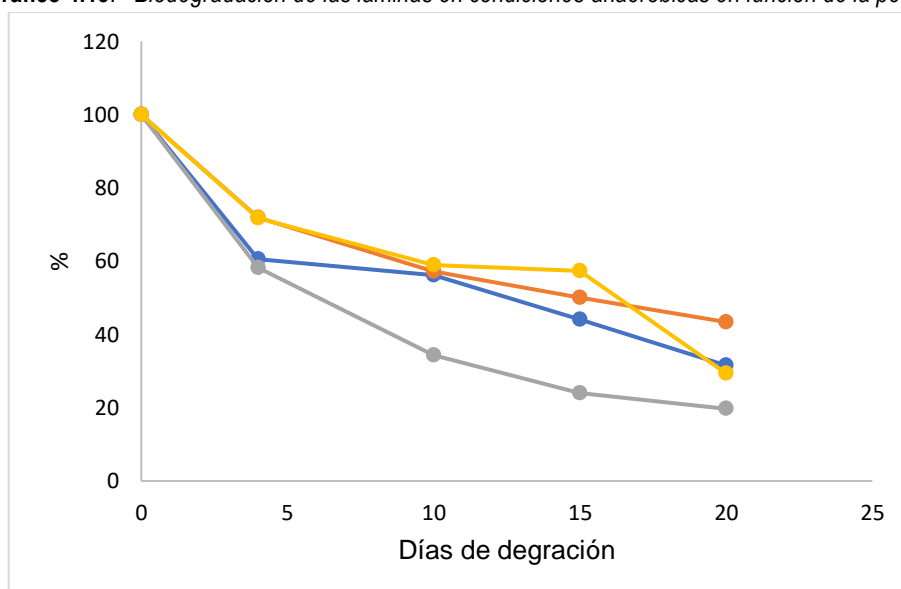
Fuente: Los investigadores.

Los tratamientos  $T_1$  y  $T_3$ , en su formulación, fueron los que menor cantidad de almidón poseían, además, el espesor de estas láminas era inferior a los tratamientos  $T_2$  y  $T_4$ . Esto efectivamente tuvo que ver con la rapidez de la degradabilidad de estas láminas ( $T_1$  y  $T_3$ ), debido a que al poseer las cantidades más bajas del polímero (almidón) no presentaban una buena estructura, haciendo que el proceso de digestión, asimilación y metabolismo de las láminas, sea más fácil para los microorganismos, ayudados por las condiciones de pH y temperatura que presentó el suelo (ver anexo 1-A y 1-B).

### • DEGRADABILIDAD EN CONDICIONES ANAERÓBICAS

Los tratamientos (láminas), fueron evaluadas en condiciones anaeróbicas a 12 cm de profundidad. A estas láminas se les determinó su peso en los días 4, 10, 15 y 20, notándose una evidente pérdida de masa expresada en porcentaje, lo cual se muestra en el gráfico 4.13., donde se aprecia que el  $T_3$  (20 %) y  $T_4$  (29 %), fueron los tratamientos con mayor pérdida de peso (> degradabilidad).

**Gráfico 4.13.** Biodegradación de las láminas en condiciones anaeróbicas en función de la pérdida de peso.



Fuente: Los investigadores.

Como consecuencia de la exposición de las láminas al suelo, con variaciones mínimas en cuanto a temperatura y pH (ver anexo 2-A y 2-B) y bajo la acción de diversos microorganismos mesófilos existentes en el suelo, las láminas fueron degradándose; evidenciándose que, en condiciones anaerobias, este proceso de descomposición fue más efectivo que el aerobio, lo cual se podía comprobar por el

aspecto de las láminas y por la pérdida de su peso (ver anexo 2-C). Esto se debió a las condiciones de pH del suelo, temperatura y humedad, lo que hizo un ambiente propicio para los microorganismos, haciendo más fácil la digestión, asimilación y metabolismo de las láminas, en este caso de las que poseían menor cantidad de almidón en su estructura (T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>).

En los dos procesos de degradación se observó pérdida de masa, evidenciando también cambios en la coloración en las láminas, lo que, según Francisco et al. (2021) se debe a reacciones de oscurecimiento no enzimático y la degradación de algunos pigmentos y las antocianinas por las condiciones de pH y temperatura que tienen lugar durante el proceso de degradación. Por su parte Santillán et al. (2011) indican que efectivamente estos cambios de tonalidad se dan por la coloración propia de los ingredientes y por cambios químicos ocurridos durante el proceso.

Los datos obtenidos en esta investigación, coinciden con los reportados por Meza (2016) quien en su investigación demostró que la degradabilidad de su bioplástico a partir de almidón residual de papa, fue superior al 80 % en un lapso de 10 semanas, concluyendo que, a mayor pérdida de peso de las láminas en función del tiempo, mayor era su degradación.

#### 4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS FUNDAS BIODEGRADABLES

Una vez elaboradas, las fundas biodegradables fueron sometidas a pruebas físicas de tracción y elongación, para lo cual se utilizaron los cuatro tratamientos en estudio. En este sentido, los datos para las variables antes mencionadas fueron analizados a través de los supuestos del ANOVA, realizando en primera instancia, la prueba de normalidad (tabla 4.12.), misma que indicó que los datos presentaban una distribución normal, ( $p > 0,05$ ) por lo que se analizaron a través supuesto de homogeneidad.

**Tabla 4.12.** Supuestos de normalidad para las variables en estudio.

Variables dependientes	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la tracción	T <sub>1</sub>	0,934	3	0,505
	T <sub>2</sub>	1	3	1
	T <sub>3</sub>	0,993	3	0,843
	T <sub>4</sub>	0,921	3	0,458

Elongación	T <sub>1</sub>	1	3	1
	T <sub>2</sub>	0,855	3	0,253
	T <sub>3</sub>	0,936	3	0,51
	T <sub>4</sub>	0,803	3	0,122

Fuente: Autores.

La prueba de homogeneidad (Levene) para los datos de las variables resistencia a la tracción y elongación, demostraron que la varianza de la variable dependiente es la misma en el conjunto de la población definida por la combinación de los factores en estudio ( $p > 0,05$ ), tal y como se observa en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13.** Supuesto de homogeneidad para las variables en estudio.

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error <sup>a</sup>				
	F	gl1	gl2	Sig.
Resistencia a la tracción (MPa)	3,782	3	8	0,059
Elongación (%)	2,777	3	8	0,110

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + Tratamientos

Fuente: Autores.

#### 4.4.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La tabla de ANOVA indicó diferencias estadísticamente significativas en todos los efectos principales del modelo estadístico, donde el factor A (cantidades de almidón), B (porcentaje de glicerina) y la interacción de ambos factores, presentan diferencias estadísticamente significativas. Es decir, los factores en estudio incidieron sobre la variable resistencia a la tracción de las láminas, mismo que se aprecia en la tabla 4.14.

**Tabla 4.14.** Análisis de ANOVA para la variable resistencia a tracción.

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia a la tracción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Factor A:</b> Cantidad de almidón	17,400	1	17,400	157,527	0,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de Glicerina	,837	1	,837	7,581	0,025



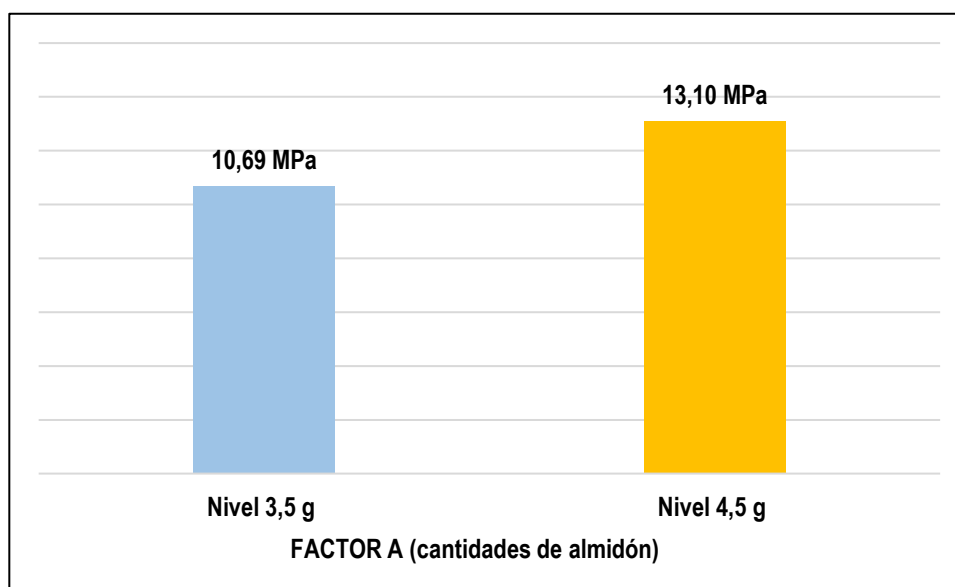
Gramos de almidón * Porcentaje de Glicerina	4,165	1	4,165	37,710	0,000
Error	,884	8	,110		
Total corregida	23,287	11			

a. R cuadrado = ,962 (R cuadrado corregida = ,948)

Fuente: Autores.

Para demostrar las diferencias entre los niveles del factor A (cantidad de almidón), se utilizó un gráfico de barras (gráfico 4.14) mostrando las medias, donde el nivel de almidón 4,5 g presentó mayor resistencia a la tracción con una media de 13,10 (MPa), mientras que el nivel 3,5 g de almidón fue quien otorgó los menores promedios de resistencia a la tracción (10,69 MPa).

**Gráfico 4.14.** Medias de resistencia a la tracción aportadas por los niveles del factor A.



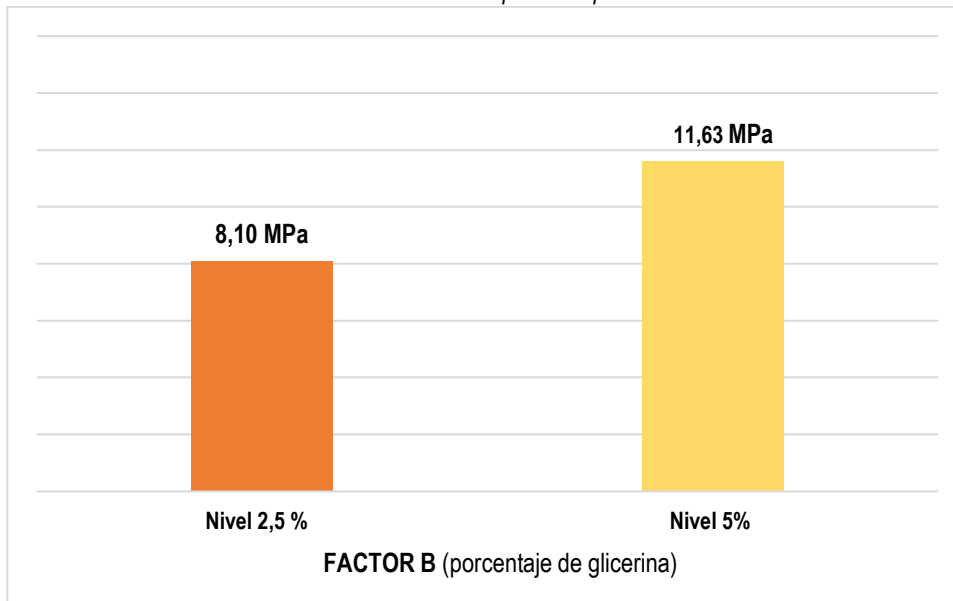
Fuente: Autores.

El análisis demostró que el nivel 4,5 g de almidón de papa superchola proporcionó la mayor media para esta variable (13,10); esto fue evidente puesto que, a mayor proporción de almidón, la estructura de la lámina presentó mayor estabilidad. De acuerdo con Farfán et al., (2018) mencionan que la resistencia a la tracción está relacionada con el espesor de las láminas; sin embargo, una correcta proporción de material plastificante como el glicerol, también influyen con esta propiedad.

En otro orden de ideas, mediante un gráfico de barras indicando las medias, se demostró la inferencia de los niveles del factor B (porcentaje de glicerina) sobre la variable repuesta, donde se evidenció que el nivel 5 % de glicerina, aportó mayor

resistencia a la tracción (11,63 MPa), mientras que el nivel 2,5 % contribuyó con una media de 8,10 MPa, tal y como se lo muestra en el gráfico 4.15.

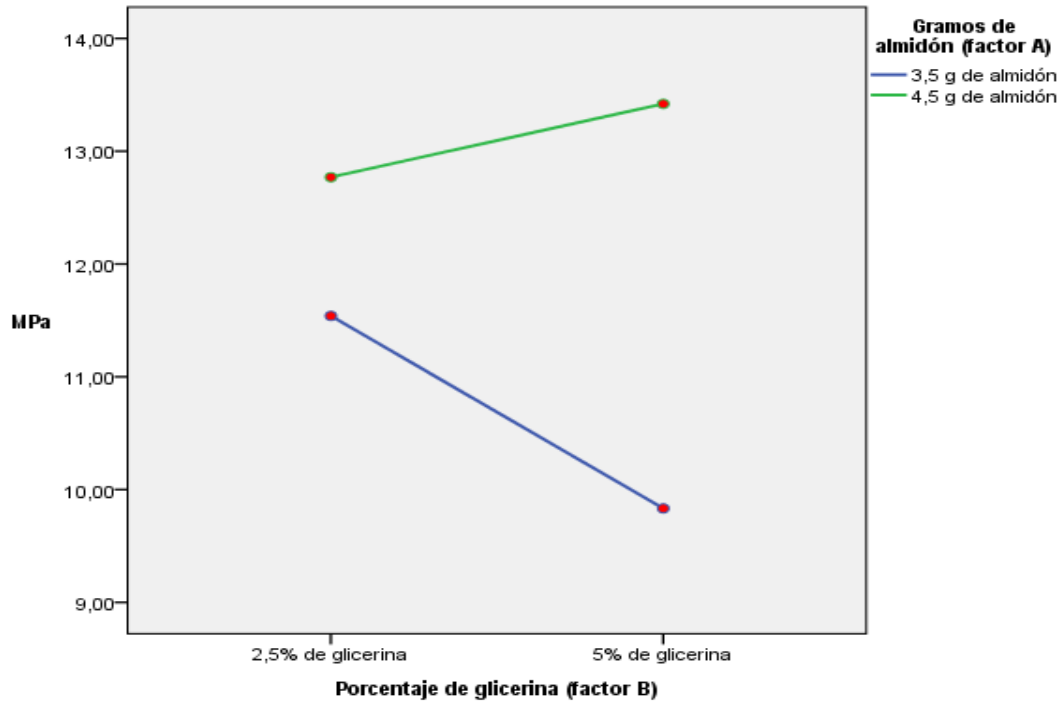
**Gráfico 4.15.** Medias de resistencia a la tracción aportadas por los niveles del factor B.



**Fuente:** Autores.

Según Farfán et al. (2018) la glicerina les otorga elasticidad a las láminas; sin embargo, indican que la proporción correcta es algo a tomar en cuenta, debido a que, si está en exceso, estas se pueden romper con facilidad. En este sentido, las láminas que contenían 5 % de glicerina, otorgan mayor resistencia a la tracción.

Respecto a la interacción de los factores en estudio, el análisis demostró que a mayor proporción de almidón de papa supercopa y menor proporción de glicerina como agente plastificante para la obtención de láminas, estas presentaban mayor resistencia a la tracción; no obstante, la mejor interacción se dio entre el nivel  $a_2$ : 4,5 g de almidón (factor A) y  $b_2$ : 5 % de glicerina, tal y como lo muestra el gráfico 4.16.

**Gráfico 4.16.** Interacción de los factores en estudio para la variable resistencia a la tracción.

Fuente: Autores.

Las diferencias entre los tratamientos, se determinó mediante la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 % de error, misma que categorizó las medias de resistencia a la tracción de los tratamientos, donde el T<sub>3</sub> se ubicó en el subconjunto uno con la menor media para esta variable (9,83 MPa) mientras que el T<sub>2</sub> (12,77 MPa) y T<sub>4</sub> (13,42 MPa) se ubicaron en la categoría tres con las mayores medias para esta variable tal y como se lo presenta a continuación.

**Tabla 4.15.** Análisis de Tukey para la variable resistencia a la tracción (MPa).

HSD de Tukey <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	3	9,83		
T1	3		11,54	
T2	3			12,77
T4	3			13,42
Sig.		1,000	1,000	,155

Fuente: Autores.

La norma NTE INEN 2290 (2015) establece que, para fundas plásticas, la resistencia a la tracción debe ser superior a 20 MPa en dirección de máquina (DM) y 20 MPa en dirección transversal (DT); sin embargo, los tratamientos planteados para la elaboración de fundas biodegradables, no cumplieron con los estándares establecidos, lo cual determina que las formulaciones planteadas son deficientes para la obtención de fundas de uso comercial.

Estos resultados no son diferentes de los reportados por Meza (2016) quien obtuvo medias de 1,47 MPa, mientras que Holguín (2019) en su investigación de similar índole, reportó una resistencia a la tracción de 4,13 MPa con bioplástico a base de almidón de papa. Aunque los tratamientos en estudio poseían formulaciones distintas, todas fueron elaboradas con las mismas materias primas como el almidón. Las diferencias en las características mecánicas de las fundas, pudieron estar relacionadas con la calidad del polisacárido (almidón de papa), el cual fue obtenido y secado a temperaturas controladas. En este sentido, quizá el secado al sol sea una variable importante para la elaboración de estos bioplásticos.

De acuerdo con Serna et al. (2017) la intensidad solar que se le aplica al secado de los almidones, influye sobre la capacidad de expansión, pero también sobre las características fisicoquímicas (% de almidón, amilosa y amilopectina). Es importante también aclarar que Vargas et al. (2019) ha encontrado una relación entre ácido láctico y la capacidad de expansión del almidón agro, principalmente con los derivados como lactatos o productos de la degradación que se forman durante el secado al sol. En este sentido, un almidón secado al sol y utilizado al momento de elaborar una película, otorgará mejores características estructurales.

#### 4.4.2. ELONGACIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) demostró diferencias estadísticamente significativas en los efectos principales del modelo estadístico, así, el factor A (cantidades de almidón), B (porcentaje de glicerina) y la interacción entre ambos, presentaron diferencias altamente significativas, tal y como lo muestra la tabla 4.16.

**Tabla 4.16.** Análisis de ANOVA para la variable elongación (%).

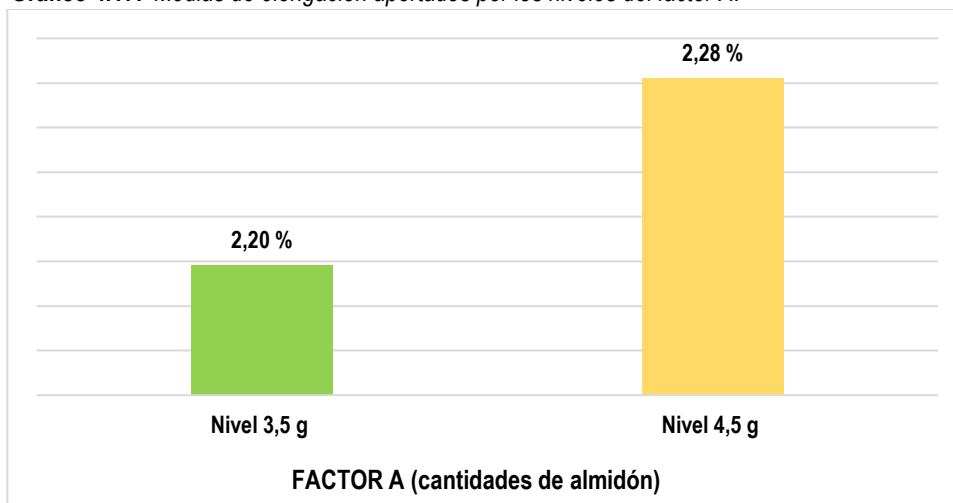
Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente. Elongación					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Factor A:</b> Cantidad de almidón	4,502	1	4,502	502,068	,000
<b>Factor B:</b> Porcentaje de glicerina	,166	1	,166	18,477	,003
Gramos de almidón * Porcentaje de glicerina	,429	1	,429	47,889	,000
Error	,072	8	,009		
Total, corregida	5,169	11			

a. R cuadrado = ,986 (R cuadrado corregida = ,981)

**Fuente:** Autores.

Para establecer las diferencias que producían los niveles del factor A en la variable elongación, se aplicó un gráfico de barras representando las de medias de cada uno de estos niveles (gráfico 4.17.).

**Gráfico 4.17.** Medias de elongación aportados por los niveles del factor A.

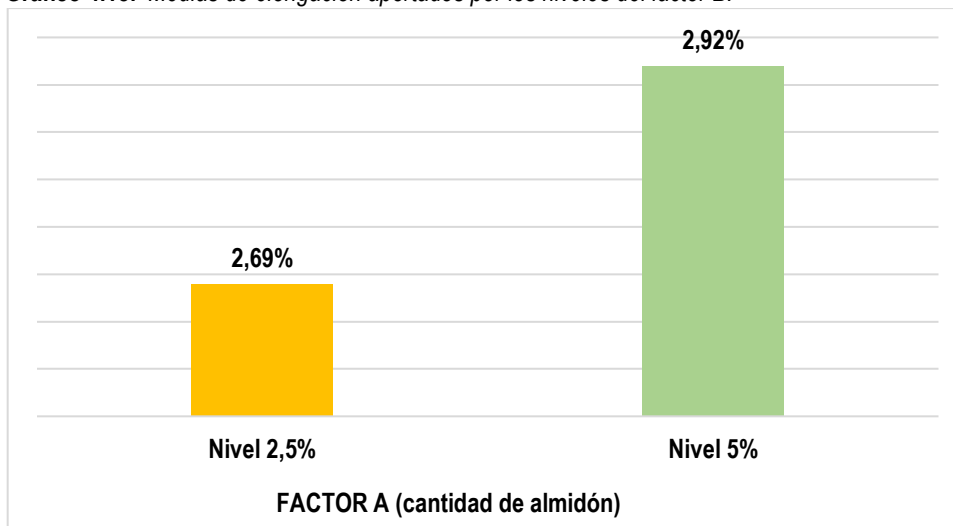


Fuente: Autores.

El análisis demostró que el nivel de 4,5 g de almidón de papa superchola, aportó los mayores promedios para esta variable (2,28 %). Según Holguín (2019) la elongación y elasticidad de las láminas está directamente relacionada con los porcentajes de glicerina y el pH de la mezcla inicial.

En cuanto al factor B, el análisis de medias demostró que el nivel 5 % de glicerina proporcionó un mayor porcentaje de elongación (2,92 %) que el nivel 2,5 %, el cual otorgó a las fundas un porcentaje de 2,69 % (ver gráfico 4.18.)

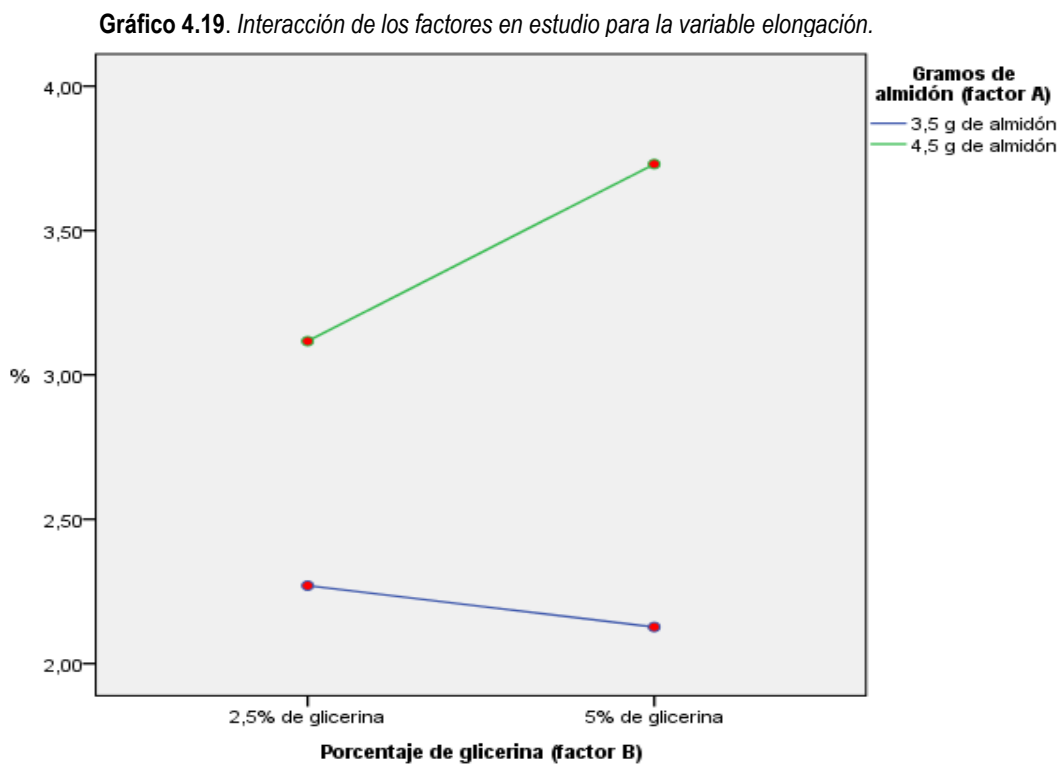
**Gráfico 4.18.** Medias de elongación aportados por los niveles del factor B.



Fuente: Autores.

Farfán et al. (2018) en su investigación de similares índoles, indicó que las láminas que contenían mayor cantidad de glicerina adquieren mayor elasticidad y elongación, sin embargo, se rompen más rápido.

Por otra parte, la interacción de factores demostró que a mayor proporción de almidón de papa superchola, las láminas presentaban una media porcentual más alta de elongación; sin embargo, la interacción más favorable fue  $a_1$ : 4,5 g de almidón 8 (factor A) y  $b_2$ : 5 % de glicerina (factor B), tal y como se lo muestra en el gráfico 4.19.



Fuente: Autores.

Para demostrar las diferencias entre los tratamientos, se aplicó la prueba honestamente significativa de Tukey al 5 % de error, misma que categorizó las medias elongación de los tratamientos, donde el  $T_3$  (2,12 %) y  $T_1$  (2,27 %) se ubicaron en el subconjunto uno con las menores medias para esta variable, mientras que  $T_4$  se ubicó en la categoría tres con la mayor media porcentual de elongación.

**Tabla 4.17.** Análisis de Tukey para la variable elongación (%).

HSD de Tukey <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	3	2,12		
T1	3	2,27		
T2	3		3,11	
T4	3			3,73
Sig.		,318	1,000	1,000

Fuente: Autores.

La norma NTE INEN 2290 (2015) para fundas plásticas, establece que la elongación de fundas para residuos y desechos sólidos debe ser  $\geq 300$  en dirección de máquina (DM) y  $\geq 250$  en dirección transversal (DT). En esta investigación, las fundas presentaron una elongación DM y DT entre 2,13 y 3,73 %. A pesar de esto, los valores obtenidos no estuvieron dentro de los rangos establecidos, demostrando que las formulaciones para la elaboración de bioplástico fueron deficientes. Estos resultados son bajos al igual que los de Meza (2016) quien en su investigación reportó una elongación porcentual máxima de 24,18 %, mientras que en la investigación realizada por Holguín (2019) quien elaboró un bioplástico con almidón de papa, consiguiendo un valor porcentual de elongación de 4 %, resultado parecido al de la presente investigación.

#### 4.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLE

En la tabla 4.22., se muestra el análisis económico para la obtención de una bolsa biodegradable, para lo cual se escogido el tratamiento 4 como referencias.

**Equipos:** Los equipos requeridos para la elaboración de una bolsa biodegradable fueron: estufa, plancha de calentamiento y balanza analítica, donde los valores de tarifa correspondieron al alquiler de estos por hora.

**Materiales:** para la elaboración de las bolsas se utilizaron materiales como glicerina, ácido acético, agua destilada y almidón.

**Mano de obra:** en este apartado se tomó como referencia a un laboratorista donde los valores económicos por conceptos de trabajo, fueron establecidos de acuerdo

a Contraloría General del Estado para salarios mínimos por ley 2022 que fijan las remuneraciones básicas, correspondiente a una jornada diaria de 8 horas.

**Valor por una bolsa:** Sumados los subtotales referentes a: equipos (M) \$0,61, mano de obra (N) \$0,812, materiales (O) \$0,29, más los costos indirectos (\$0,34 cent) el valor de producción de una bolsa biodegradable con dimensiones de 20x15cm fue de \$2,052. El precio de venta considerando un margen de utilidad del 15 % fue de \$3,06.

**Tabla 4.18.** Costo de producción por bolsa biodegradable a base de almidón de papa superchola.

Rubro:		BOLSA BIODEGRADABLE			Unidad:	U
<b>EQUIPOS</b>						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Balanza analítica	1	0,01	0,01	2	0,02	
Estufa	1	0,28	0,28	2	0,56	
Plancha de calentamiento	1	0,01745	0,02	2	0,0349	
Herramientas menores (5% mano de obra)						
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,61</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
Descripción	Cantidad	Jornal/h	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Laboratorista	0,1	4,06	0,406	2	0,812	
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,812</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
		A	B	C=A*B		
Almidón de papa superchola	g	4,5	0	0		
Glicerina	mL	5	0,01	0,15		
Ácido acético	mL	1,5	0	0,02		
Agua destilada	mL	60	0	0,12		
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,29</b>		
<b>TRANSPORTE</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo		
		A	B	C=A*B		
				0		
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0</b>		
	<b>TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				1,712	
	<b>INDIRECTOS 20 %</b>				0,34	
	<b>UTILIDAD %</b>					
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>2,052</b>	
	<b>VALOR OFERTADO</b>				<b>2,052</b>	

Fuente: Los investigadores.



Los costos indirectos pertenecen a las materias procedentes del proceso, mismos que corresponden a materiales de oficina que fueron parte del desarrollo como: libretas, esferos y hojas; resultando un costo de \$0,34 centavos, representando el 20 % del costo.

El precio requerido para la elaboración de las láminas biodegradables afianza la probabilidad de uso y manejo de plástico biodegradable como alternativa a la utilización de polietileno sintético.

**Tabla 4.19.** Precio de venta.

Materia prima	0,90
Mano de obra	0,812
Costos indirectos	0,34
	<hr/> 2,052
Unidades producidas	<hr/> 1
Costo unitario de producción	<hr/> 2,052
Gastos de producción	0,61
Total de unidades producidas gastos	<hr/> 1
Unitarios de producción	0,61
Margen de utilidad	<hr/> 15%

Fuente: Autores.

El precio de venta se calculó con base a la ecuación 4.1:

$$pv = (\text{Costos unitarios} + \text{gastos unitarios}) \% \text{ de utilidad (4.1).}$$

$$pv = (2,052 + 0,61) 15 \% = \$3,06$$

El precio de venta es igual a \$3,06 por unidad. Estos datos coinciden con lo reportado por Toala y Sarmiento (2019) quienes indican que bolsas de 38x60 cm obtuvieron un valor de \$8,94 donde se incluyó los costos de materia prima y los costos directos e indirectos de fabricación. En la misma línea, bioplásticos Genil (2019) dedicada a la elaboración de bolsas de almidón, tienen un precio de venta unitario de \$5,85.

Navarrete (2020) indica que, la producción de bolsas biodegradables representa varias ventajas como: el material utilizado no afecta al medio ambiente, y requieren de recursos de bajos costos, con métodos de producción más sencillos, por lo tanto, son una línea de trabajo prometedora.

#### **4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Por lo expuesto en los apartados anteriores, se rechaza la hipótesis de investigación planteada, debido que a pesar de que el T<sub>4</sub> (4,5 g de almidón de papa y 5 % de glicerina) fue el mejor de los tratamientos planteados en relación a sus propiedades físico-químicas de: permeabilidad (1,64 %), humedad (30,25 %), solubilidad (62,67 %) y espesor (0,54 mm), esta formulación no fue favorable en la fabricación de bolsas biodegradables en relación a los parámetros físicos de resistencia a la tracción y elongación establecidos por la norma NTE INEN 2290 (2015).

Esto se debió a la baja resistencia estructural otorgada por la cantidad y funcionalidad del almidón de papa superchola, mismo que fue obtenido a nivel de laboratorio sin procesos de beneficio (fermentado y secado al sol) haciendo que las láminas utilizadas para la fabricación de fundas biodegradables no presentaran características favorables de resistencia a la tracción y elongación.

# CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- Las láminas producto de la combinación de almidón y glicerina como factores en estudio cumplieron con los requisitos físico-químicos siendo el T4 el que mejores características demostró en cuanto a permeabilidad (1,64 %), humedad (30,25 %), solubilidad (62,67 %) y espesor (0,54 mm), presentando buena estabilidad debido a la relación de almidón utilizada para su formulación (4,5 g).
- El proceso de degradación de las películas correspondientes a los tratamientos presentó mejores resultados en condiciones anaerobias, donde el T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>, los cuales en su formulación utilizaron las menores cantidades de almidón (3,5 g), fueron lo que mayor degradabilidad presentaron al cabo de 20 días.
- Los tratamientos cumplieron con los requisitos físico-químicos para la elaboración de fundas, pero ninguno de estos estuvo dentro de los requisitos físicos de resistencia a la tracción y elongación estipulados por la norma NTE INEN 2290.
- Las materias primas utilizadas para la obtención de bolsas de plástico biodegradables son de bajo costo, el proceso es sencillo y se requiere de poco tiempo; el valor de la realización de una bolsa biodegradable en esta investigación con dimensiones de 20x15 cm fue de \$ 3,06, este valor refleja el costo unitario; sin embargo, una producción masiva optimizaría los recursos y reduciría los costos de producción considerablemente.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar el proceso de fermentado y secado del almidón de papa utilizando los rayos solares, mismo que le pueda conceder mejores características mecánicas para la obtención de una película con mayor estabilidad estructural y molecular.

- Evaluar diferentes dosis de almidón de papa que superen los 4,5 g y utilizar como plastificante un agente que no sea afín al agua como los aceites vegetales epoxidados para evitar problemas de permeabilidad en las láminas.
- Promover el uso y elaboración de bolsas biodegradables para disminuir el uso de plásticos comunes derivados del petróleo y así minimizar la contaminación ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista científica de FAREM-Estelí*, (24), 60-81.
- Angamarca, Y y Delgado, L. (2022). *Obtención de biopolímeros a partir de residuos de maíz (Zea mays L.) para la elaboración de films*. (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana). DOI: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22542>
- Arguello, A. y Torres, K. (2021). Diseño y construcción de un equipo de moldeo térmico para la elaboración de platos biodegradables a partir del bagazo de la Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- Bastidas, G. (2013). Papa Superchola. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Bollarín, C., y Agullo, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista España Salud Pública*, 93, 1 - 10. Obtenido de <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v93/>
- Brown, T., Lemay, E., Bursten, B., y Burdge, J. (2018). Glicerina. La ciencia central (9na ed.). <https://academia.utp.edu.co/quimica2/files/2018/09/quc3admica-la-ciencia-central-brown.pdf>
- Calahorrano, K. A., y Casierra, M. B. (2015). *Producción y Comercialización de Plástico Biodegradable a partir de la Cáscara De Banano en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- Castañeda, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., y Manzano, C. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista boliviana de química*, 37(3), 160 - 175. Obtenido de <http://www.scielo.org.bo/>
- Cerón, M., Alzate, A., Rojano, B., y Ñuztez, C. (2018). Composición Físicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Revista Información Tecnológica*, 29(3), 1 - 12.
- Chamorro, R. (2014). Gestión de plásticos en el medio marino. [tesis de fin de grado, Universidad de Cantabria]. Archivo digital. <https://repositorio.unican.es/>
- Charro, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir del almidón de patata. [tesis de maestría, Universidad Central del Ecuador]. Archivo digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec>:
- Conde, A. (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 51(2). <http://scielo.sld.cu/scielo>.
- Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., y Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta, 13(23), 55 - 81.

- Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., y Corredor, A. (2019). *Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*. Colombia: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Cortés, J., Fernández, A., Mosquera, S., y Velasco, R. (2014). Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 88 - 97.
- Cusme, K., y Gómez, A. (2019). Porcentajes de almidones con adición de plastificantes naturales en la elaboración de un recubrimiento. Calceta: ESPAM MFL.
- Enríquez, M., Velasco, R., y Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología*, 10(1), 182-192. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>
- Escanilla, J. (2019). Propuesta de acciones para una adecuada gestión de residuos generados por el rubro de la construcción y demolición. [tesis de maestría, Universidad de Chile]. Archivo digital. <http://repositorio.uchile.cl/>
- Farfán, M., Maza, J., Navarro, E., Saavedra, O., y Yamunaque, K. (2018). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa polímeros del norte S.A.C.* Universidad de Piura.
- Fernández, M., Albaladejo, M., Álava, S. y Pérez, O. (2020). Tendinitis calcificante de hombro: factores de riesgo y efectividad de la iontoforesis con ácido acético 5% más ultrasonido: estudio cuasiexperimental prospectivo a 5 años con 138 casos. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 27(6), 340-348.
- Fernández, N. (2018). Plásticos biodegradables. Una vía para disminuir la contaminación ambiental. *En Encuentro con la Química*, 4(3), 7-14. <https://medium.com/juventud-t>
- Francisco, B., Vidal, I., Maldonado, Y., Hernández, J., Flores, V., Arámbula, G., y Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-gelatina. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 23(1), 52 - 61.
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., y Garmendia, L. (2015). *Evaluación de impacto ambiental* (1ra ed.). PEARSON-PRENTICE HALL. <https://sociologiaambientalvcm.files.wordpress.com/2014/07/evaluacion-de-impacto-ambiental-garmendia.pdf>
- Gómez, G. (2020). *Melamina que es, ventajas y ejemplos* (1ra ed.). Homify. [https://www.homify.com.mx/libros\\_de\\_ideas/6162623/melamina-que-es-ventajas-y-ejemplos](https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/6162623/melamina-que-es-ventajas-y-ejemplos)
- Guamán, J. (2019). Tesis de pregrado. "Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras de papa para su aplicación industrial". Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

- Guerrero, C., Cuvi, M., Pillajo, G., Hernández, T. y Concellón, A. (2015). Efecto de la cocción sobre la composición química y capacidad antioxidante de papas nativas (*Solanum tuberosum*) del Ecuador. *Ecuador es calidad-Revista Científica Ecuatoriana*, 2(2).
- Guerrero, D. (2021). *Química de Alimentos I: Almidón, Gelatinización y Retrogradación*. México.
- Guerrero, L. (2014, 12 de marzo). Almidón, Gelatinización y Retrogradación. Química de Alimentos I seminario. México. <http://depa.fquim.unam.mx/>
- Guerrón, A. (2016). *Análisis de contaminantes emergentes orgánicos en agua residual*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/>
- Gutiérrez, J. (2019). Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de piura, Perú, [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Archivo digital. <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Hernández, A. (2013). *El cuidado del medio ambiental: análisis, reseña, propuestas, crónicas, tesis, concepciones y paradigmas*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hernández, Z. (2012). *Métodos de análisis de datos* (6ta ed.). Creative Commons Reconocimiento. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=489791>
- Herranz, G. (2016). *Estudio de los mecanismos de reticulación en la obtención de gelatina-goma arábiga*. ESEIAAT.
- Holguin, J. (2019). Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Holguín, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. (Tesis de pregrado. (Universidad de América, facultad de ingenierías, programa de ingeniería química, Bogotá).
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2018), Información Ambiental en Hogares ESPND 2018. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/hogares/>
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2018). Contenido de humedad. Obtenido de [www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)
- Juliño, M., Ocaña, F. y Concha, J. (2021). Contaminación ambiental y su influencia en la salud. ReNaCientE. *Revista Nacional Científica Estudiantil - UPEL-IPB*. 2(1), 75–90. DOI: <https://doi.org/10.46498/renacipb.v2i1.1566>.
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., y Laohakunjit, N. (2014). Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Revista Carbohydrate Polymers*, 110, 70 - 77.
- López, M., y Franco, A. (2021). Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria. *Revista Educación Química*, 32(2), 1 - 16. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76553>
- Mastrocola, N., Pino, G., Mera, X., Rojano, P., Haro, F., Rivadeneira, J., . . . Cuesta, X. (2016). *Catálogos de variedad de papa del Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2748/1/iniapscpm427.pdf>

- Mayo, G., Navarrete, A., Maldonado, Y., Jiménez, J., Santiago, D., Arámbula, G., . . . Salazar, R. (2020). Addition of roselle and mango peel powder in tortilla chips: a strategy for increasing their functionality. *Revista Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1511 - 1519.
- Menoscal, R., y Rodríguez, E. (2017). Tesis de pregrado. *Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (Manihot esculenta)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Calceta.
- Monferrer, D. (2013, 25 de enero). Fundamentos de Marketing. *Sapientia*, 1(74), 145-155. <http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia 74>
- Moreno, Á., Del Barrio, J. y Ainsa, S. (2018). *Polímeros Covalentes Dinámicos en el Desarrollo de Vectores de Entrega de Material Genético*. (Tesis de pregrado, Universidad Zaragoza). DOI: <https://zaguan.unizar.es/record/97975/files/TAZ-TFG-2020-3223.pdf?version=1>
- Moreno, C., Andrade, M., Oña, G., Llumiquinga, T., y Concellón, A. (2017). Efecto de la cocción sobre la composición química y capacidad antioxidante de papas nativas (*Solanum tuberosum*) del Ecuador. *Revista Científica Ecuatoriana - Ecuador es Calidad*, 2, 1 - 7.
- Moreno, N. (2017). *Sustancias químicas y efectos sobre la reproducción humana*. Obtenido de [https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp\\_245.pdf/a3c568f8-bbc2-4cea-bd84-6db10835de21](https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_245.pdf/a3c568f8-bbc2-4cea-bd84-6db10835de21)
- Navarrete, I. (2020). Aspectos positivos que conllevan el manejo de bolsas biodegradables. (Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada)
- Nazate, M. (2018). *Evaluación de un recubrimiento de gelatina como método alternativo de control de brotación en seis variedades de papa Solanum tuberosum*. (Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra)
- NTE INEN 2636. (2012). Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Se consideran las películas biodegradables de naturaleza hidrofílica, y se cree que existe*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ocaña, I. (2019). *Caracterización fisicoquímica, nutricional y reológica de cultivos andinos infrautilizados*. (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato). DOI: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30002>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *Manual de biogás*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Ortega, J. (2013). ¿Por qué un contaminante biodegradable persiste en el ambiente?. *SILENO*. 1(14). <https://digital.csic.es/bitstream>
- Ortega, J. (2013). *¿Por qué un contaminante biodegradable persiste en el ambiente?* Obtenido de [https://digital.csic.es/bitstream/10261/115992/4/Por\\_que\\_contaminante\\_bio\\_degradable.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/115992/4/Por_que_contaminante_bio_degradable.pdf)



- Palma, H., Salgado, R., Páramo, D., Vargas, A., y Meza, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Revista Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 27(1). doi:doi: 10.15174/au.2017.1215
- Pascual, E. (2016). Bolsas biodegradables y medio ambiente. Obtenido de <https://elblogverde.com/bolsas-biodegradables-y-medio-ambiente/>
- Peña, E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativa procedentes de llave (Puno). [tesis de fin de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2655>
- Pérez, J. (2017). *La evaluación como instrumento de mejora de la calidad del aprendizaje*. España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Pertuz, A. (2021). Tesis de pregrado. *Biopolímeros a base de almidón de papa (Solanum tuberosum), para uso de la industria osum), para uso de la industria*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá.
- Petrie, L., Miralles, S., Oller, I., Agüera, A., Puma, G., y Malato, S. (2012). *Tratamiento de contaminantes emergentes en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) mediante fotocátalisis solar utilizando concentraciones bajas de TiO 2*. ELSEVIER.
- Prieto, B. (2017). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. Colombia: ORCID.
- Ríos, Á., Álvarez, C., Cruz, L., y Restrepo, A. (2017). Revisión: fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos. *Revista Prospectiva*, 15(1), 7 - 15.
- Rodríguez, D. (2013). *Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (Solanum tuberosum) y criolla (Solanum phureja)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, D. (2013). Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (Solanum tuberosum) y criolla (Solanum phureja). [tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/74948>
- Rodríguez, E., Sandoval, A. y Fernández, A. (2021). Evaluation of starch retrogradation in cassava flour from precooked parenchyma. *Revista Colombiana de Química*, 36(1), 13-30.
- Rodríguez, R. (2015). Mar del plástico: Una revisión del plástico en el mar. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*. 27. <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/>
- Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua*. Nicaragua.

- Ruiz, M., Pastor, K., y Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de artículos desechables en un sistema de composta con lombriz. *SciELO*, 24(2), 47-56. <https://scielo.conicyt.cl/scielo>.
- Santillán, A., Martínez, F., Castaño, E., y Amaya, S. (2011). Physicochemical characterization of extruded blends of corn starch–whey protein concentrate–Agave tequilana fiber. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 797 - 808.
- Serna, T., Contreras, Y., Lozano, M., Salcedo, J. y Hernández, J. (2017). Variación del método de secado en la fermentación espontánea del almidón nativo de yuca. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 15(1), 50-67. Obtenido de <http://revistas.unipamplona.edu.co>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2015). *Fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. Requisitos*. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2290.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2290.pdf)
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2015). *Fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. Requisitos*. <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Singh, J., y kaur, L. (2016). *Avances en la química y la tecnología de la papa*. Academic Press.
- Vargas, P., Araya, Y., López, M. y Bonilla, A. (2019). Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (*M. esculenta*) producido en Costa Rica. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 1-13. Obtenido de <http://www.sidalc.net/cgi-bin>
- Vega, N. (2020). Tesis de pregrado. *Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (Solanum tuberosum) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Villegas, A. (2019). *Aprovechamiento de residuos orgánicos en la Universidad Católica de Manizales*. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Manizales). DOI: <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/2367>
- Worldwide, R. (2013). Los bioplásticos y sus aplicaciones actuales. En *Bioplásticos: ¿una alternativa con futuro?* (págs. 3-4).
- Yamunaqué, K., Farfán, M., Maza, J., Navarro, E., y Saavedra, O. (2018). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polímeros del Norte S.* (Universidad de Piura, Piura)

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Características físico-químicas del suelo.

### 1-A. pH del suelo en condiciones aerobias.

Días	pH del suelo
4	7,92
10	7,87
15	7,63
20	7,59

### 1-B. Temperatura del suelo en condiciones aerobias.

Días	Temperatura (°C)
4	31,4
10	30,5
15	29,5
20	30,2

### 1-C. Degradación de los tratamientos al cabo de 20 días.

DEGRADACIÓN EN CONDICIONES AEROBIAS (20 DÍAS)			
T1 (3,5g almidón + 2,5 % de glicerina)	T2 (4,5g almidón + 2,5 % de glicerina)	T3 (3,5g almidón + 5 % de glicerina)	T4 (4,5g almidón + 5 % de glicerina)
			

## Anexo 2. Características físico-químicas del suelo.

### 2-A. pH del suelo en condiciones anaerobias.

Días	pH del suelo
4	7,99
10	7,92
15	7,89
20	7,90

### 2-B. Temperatura del suelo en condiciones anaerobias.

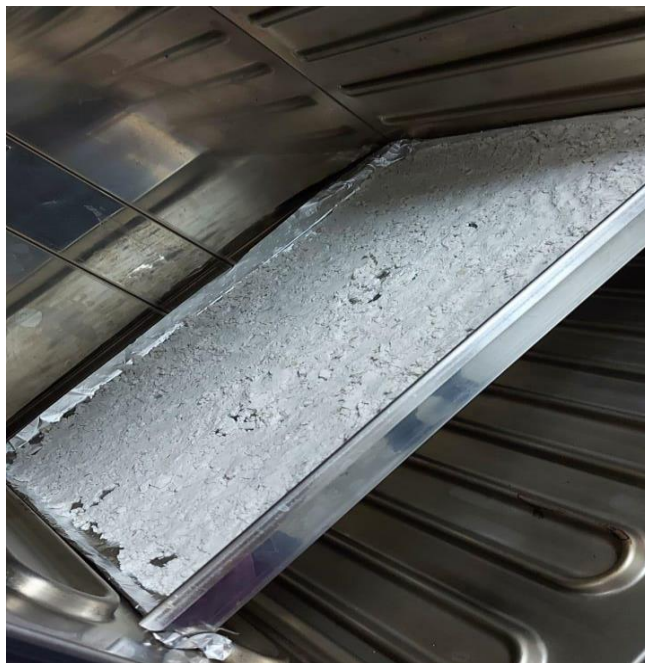
Días	Temperatura (°C)
4	34,4
10	33,1
15	32,5
20	34,6

### 2-C. Degradación de los tratamientos al cabo de 20 días.

DEGRADACIÓN EN CONDICIONES ANAEROBIAS (20 DÍAS)			
T1 (3,5g almidón + 2,5 % de glicerina)	T2 (4,5g almidón + 2,5 % de glicerina)	T3 (3,5g almidón + 5 % de glicerina)	T4 (4,5g almidón + 5 % de glicerina)
			

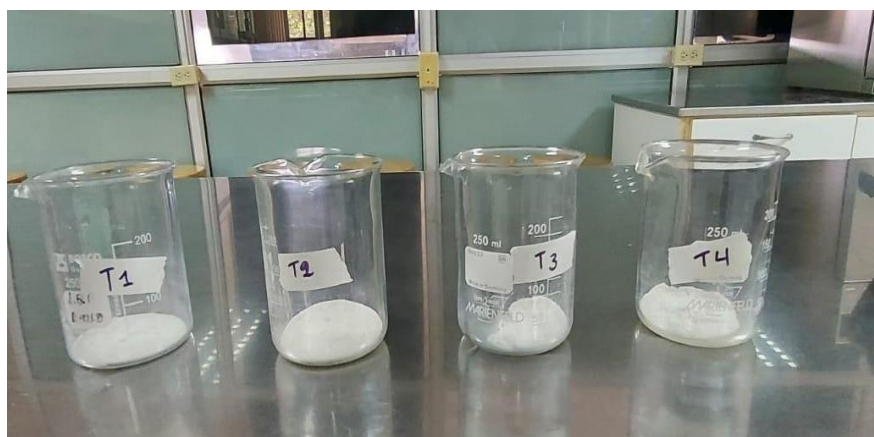
### Anexo 3. Obtención del almidón de papa superchola.

#### 3-A. Secado del almidón de papa por método estufa.



### Anexo 4. Láminas a base de almidón y glicerina.

#### 4-A. formulación de láminas.



#### 4-B. Análisis de laboratorios en la obtención de láminas.



#### Anexo 5. Bolsas biodegradables.

##### 5-A- Obtención de fundas biodegradables.

