



## **UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente**

Carrera de Agroindustrias

### **TEMA:**

“DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE PAPA (*Solanum tuberosum*).”

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Ingeniería Agroindustrial.

### **AUTORES:**

Jefferson Paul Cortez Lema

María del Carmen Naranjo Trujillo

### **TUTORA:**

Dra. Herminia Sanaguano PhD

**Guaranda – Ecuador**

2023

TEMA

**“DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL PARA LA  
OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LAS  
CÁSCARAS DE PAPA (*Solanum tuberosum*)”**

**REVISADO Y APROBADO POR:**



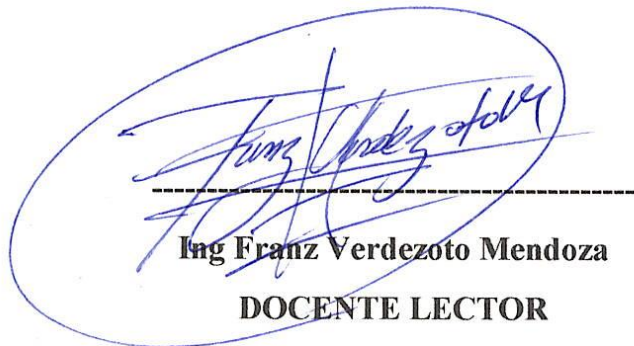
**TUTORA**

**Dra. Herminia del Rosario Sanaguano Salguero PhD.**



**Dr. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD**

**DOCENTE LECTOR**



**Ing Franz Verdezoto Mendoza**

**DOCENTE LECTOR**

**Hoja de declaración de autoría**



**CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Jefferson Paul Cortez Lema con C.I. Nro.020219492-4 y María del Carmen Naranjo Trujillo con C.I. Nro. 025030987-9, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor (es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jefferson Cortez", written over a horizontal dashed line.

Jefferson Paul Cortez Lema

CI: 020219492-4

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "María del Carmen Naranjo", written over a horizontal dashed line.

María del Carmen Naranjo Trujillo

CI: 025030987-9

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Herminia Sanaguano", written over a horizontal dashed line.

Dra. Herminia Sanaguano PhD.

CI: 060158728-0

*Notaria Tercera del Cantón Guaranda*  
*Msc. Ab. Henry Rojas Narvaez*  
*Notario*



...rio

N° ESCRITURA 20230201003P01904

**DECLARACION JURAMENTADA**

**OTORGADA POR:**

JEFFERSON PAUL CORTEZ LEMA y

MARIA DEL CARMEN NARANJO TRUJILLO

**INDETERMINADA**

**DI: 2 COPIAS L.L**

Factura: 001-001-000013877

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día veintidós de agosto del dos mil veintitrés, ante mí Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparecen el señor JEFFERSON PAUL CORTEZ LEMA soltero, domiciliado en la parroquia San Pablo del Cantón San Miguel de Bolívar y de paso por esta ciudad de Guaranda, celular 0991779806; y, MARIA DEL CARMEN NARANJO TRUJILLO soltera, domiciliada en la parroquia San Simón del Cantón Guaranda, celular 0990931298, por sus propios derechos, obligarse a quienes de conocerlos doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertidas de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declaramos lo siguientes Previo a la obtención del Título de Ingenieros Agroindustrial, de la carrera de Agroindustria, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, manifestó que los criterios e ideas emitidas en el presente estudio de caso titulado: “DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE PATA (*Solanum tuberosum*)”, es de nuestra exclusiva responsabilidad en calidad de autoras. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hago para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que les fue a los comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, aquellos se ratifican y firma conmigo se incorpora al protocolo de esta Notaria la presente escritura, de todo lo cual doy fe.-

JEFFERSON PAUL CORTEZ LEMA

C.C. 0202194924

MARIA DEL CARMEN NARANJO TRUJILLO

C.C. 0250309879

ABOGADO HENRY ROJAS NARVAEZ

NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA



## Document Information

---

Analyzed document	Tesis_Bioplastico_Cortez Jefferson_Naranjo Maria..docx (D173036138)
Submitted	2023-08-22 19:32:00
Submitted by	
Submitter email	abosquez@ueb.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	abosquez.ueb@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

---

## Entire Document

---

## Hit and source - focused comparison, Side by Side

---

Submitted text	As student entered the text in the submitted document.
Matching text	As the text appears in the source.



**Dra. HERMINIA SANAGUANO Ph.D.**  
**C.I: 0601587280**  
**TUTORA**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo técnico se lo dedico primeramente a Dios por haberme brindado salud he inteligencia y paz en los momentos que más lo he necesitado de tal forma que me permite seguir así adelante para alcanzar mis metas planteadas.

En mi vida también tengo el honor de dedicarle el presente trabajo a mi querida madrecita Teresa Lema por el esfuerzo, dedicación, amor que ha brindado a cada uno de sus hijos y en especial a mí para que culmine con una etapa más de mi vida y sea un profesional con ética, valores y jamás me dé por vencido a pesar de las adversidades de la vida que se presentan en todo momento de nuestra carrera profesional y vida diaria.

A mi padre que siempre ha estado pendiente de mí y de las metas que me he propuesto alcanzar brindándome su apoyo cariño sus consejos demostrándome que el amor de un padre siempre estará presente.

A mis hermanos Alfonso, Alberto, Ángel que han sido un ejemplo de esfuerzo, valentía, humildad para seguir adelante brindándome sus consejos un apoyo emocional y económico también a mis sobrinos a mis cuñadas que de una u otra forma me demostraron su apoyo.

Por otra parte, les dedico el presente trabajo a todos los docentes familiares amigos que confiaron en mí y aportaron con conocimientos consejos ideas en toda mi formación académica.

**Jefferson Cortez**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios quien fue mi guía, inspiración, fortaleza y me ha dado la fuerza para lograr uno de mis anhelos más deseados. De manera muy especial a mi padre Ángel Ezequiel Naranjo Calero por su amor, trabajo y sacrificio quien ha sido el motor que impulsa mis sueños, esperanzas quien estuvo a mi lado los días y las noches más difíciles durante el proceso de estudio. De igual manera a Mi madre Blanca América Trujillo Secaira por su apoyo incondicional, por ser mi mejor amiga y ejemplo a seguir, además de haberme dado la vida, siempre confió en mí y nunca me abandonó. A mis hermanos Victoria, Ángel, Emilio, Elvia, Juan, Boris y Antonio, por su cariño y apoyo incondicional y estar siempre acompañándome a toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

Mis amigas y compañeras, por la culminación de esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas de trabajo entrenamos juntos. Hoy nos toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo parar agradeciendo su apoyo y persistencia, por estar ahí en los momentos más difíciles, para compartir sus lecciones.

Aunque este trabajo requirió mucho esfuerzo y dedicación, su realización no hubiera sido posible sin la colaboración desinteresada de todas las personas que me acompañaron en el difícil camino de este trabajo, muchas de las cuales fueron de gran ayuda. muy fuerte en momentos de ansiedad y desesperación.

**Maria Naranjo**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios y a la Virgencita del Guayco por haber derramado su infinito amor y bendiciones en todo momento de mi vida y formación académica por iluminarme en los días difíciles que se presentaron en mi vida y también por darme fuerzas, salud a mí y mi familia y por haberme permitido llegar hasta este momento tan especial de mi vida. También agradezco a mis padres, a mis hermanos que han sido la base fundamental que con su apoyo hicieron posible para llegue a culminar mi educación universitaria.

De igual forma a la Universidad Estatal de Bolívar Carrera de Agroindustrias mis más sinceros agradecimientos por haberme brindado la oportunidad de ocupar un espacio en sus instalaciones siempre permitiéndonos a los estudiantes el uso de sus aulas, equipos, laboratorios que han sido el complemento para mi formación académica. Gracias a mis docentes y autoridades encargadas de mantener las funciones en la Universidad Estatal de Bolívar que hacen posible paraqué el estudiante se prepare y siga desarrollando más habilidades para adentrarse a un mundo laboral en donde con confianza esfuerzo disciplina seremos capaces de poner muy en alto el nombre de nuestra prestigiosa Universidad. Un agradecimiento en especial a mi directora de tesis a la Dra. Herminia Sanaguano por su profesionalismo, paciencia, dedicación y confianza que me permitió realizar el presente trabajo técnico ya que sin su capacidad de impartir conocimiento no hubiese sido posible este proyecto de investigación a mis evaluadores Dr. Juan Gaibor Chávez e Ing. Franz Verdezoto los cuales de forma ética profesional contribuyeron al desarrollo y la culminación de este trabajo.

**Jefferson Cortez**



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por sus bendiciones y compañía en cada momento de mi vida sin el nada de esto fuera posible. A mis padres Ángel Ecequiel Naranjo Calero y Blanca América Trujillo Secaira, ustedes siempre han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas que siempre me han acompañado aún en los días y noches más difíciles de mis estudios. Siempre han sido los mejores guías en mi vida. Me enorgullece elegirlos como mis padres y tenerlos a mi lado en este momento tan importante.

Gracias a nuestra tutora Dra. Herminia Sanaguano PhD. Sin usted y sus virtudes, paciencia y perseverancia, este trabajo no hubiera sido tan fácil. Su consejo siempre fue útil cuando me quedé sin ideas para escribir lo que logré hoy. Has sido parte importante de esta historia con tus aportes profesionales que te caracterizan, por estar ahí cuando mi horario de trabajo se estropeó. Gracias por la guía

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar por abrimos sus puertas para enseñarnos y formarnos como unas excelentes profesionales.

Al tribunal de titulación Ing. Alim. Patricia Iza Coordinador de la Unidad de Integración Curricular, a mis pares evaluadores Ing. Juan Gaibor PhD e Ing. Franz Verdezoto por su ayuda durante el desarrollo de la investigación, gracias por la paciencia y los conocimientos brindados

**Maria Naranjo**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY .....	XIX
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMA .....	3
1.2.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2.2. Situación problemática.....	4
1.2.3. Formulación del problema .....	4
1.2.4. Sistematización del problema .....	4
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
1.4. HIPÓTESIS .....	6
1.4.1. Hipótesis nula (Ho) .....	6
1.4.2. Hipótesis alternativa (Hi) .....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Generalidades de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	7
2.2. Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	7
2.2.1. Taxonomía.....	8
2.2.2. Morfología .....	8
2.2.3. Composición nutricional .....	9
2.2.4. Producción .....	10

2.3.	Variedades de papa.....	11
2.4.	Papa Chola ( <i>Solanum tuberosum L</i> ).....	11
2.4.1.	Composición nutricional de la papa Chola ( <i>Solanum tuberosum L</i> )	12
2.5.	Papa Natividad ( <i>Solanum tuberosum L</i> ).....	12
2.5.1.	Composición nutricional de la papa Natividad ( <i>Solanum tuberosum L</i> )	13
2.6.	Cáscara de papa.....	14
2.6.1.	Composición de los residuos de la cáscara de papa.....	14
2.6.2.	Almidón de cáscara de papa.....	15
2.6.3.	Usos agroindustriales del almidón.....	15
2.7.	Polisacáridos.....	16
2.7.1.	Celulosa.....	16
2.7.2.	Almidón.....	16
2.8.	Bioplásticos.....	18
2.8.1.	Beneficios de los bioplásticos.....	18
2.8.2.	Aplicaciones de los bioplásticos.....	19
2.8.3.	Norma NTE INEN para plásticos biodegradables.....	19
2.9.	Procesos para la elaboración de láminas biodegradables.....	20
2.9.1.	Gelificación.....	20
2.9.2.	Retrogradación.....	20
2.9.3.	Plastificante.....	20
2.9.4.	Glicerina.....	21
2.9.5.	Reticulación.....	21
2.9.6.	Melamina.....	21
2.9.7.	Ácido acético.....	21
2.10.	Caracterización del bioplástico.....	22
2.10.1.	Humedad.....	22
2.10.2.	Densidad.....	22
2.10.3.	Espesor.....	22
2.10.4.	Fuerza de tensión.....	23
2.10.5.	Permeabilidad.....	23
2.10.6.	Biodegradabilidad.....	23

2.10.7. Solubilidad .....	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>25</b>
<b>3.    MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>25</b>
3.1.    Ubicación y características de la investigación .....	25
3.1.1.    Localización de la investigación .....	25
3.1.2.    Situación geográfica y climática .....	25
3.1.3.    Zona de vida.....	26
3.2.    Materiales .....	26
3.2.1.    Materia experimental .....	26
3.2.2.    Material de campo.....	26
3.2.3.    Materiales de laboratorio.....	26
3.2.4.    Equipos.....	27
3.2.5.    Reactivos .....	27
3.2.6.    Materiales de oficina .....	28
3.3.    Métodos .....	28
3.3.1.    Factores de estudio.....	28
3.3.2.    Tratamientos.....	29
3.3.3.    Características del experimento .....	29
3.3.4.    Tipo de diseño experimental .....	30
3.3.5.    Análisis de varianza (Anova).....	30
3.3.6.    Pruebas de rangos múltiples.....	31
3.4.    Caracterización de la materia prima .....	31
3.4.1.    Caracterización de la humedad .....	31
3.4.2.    Caracterización de la ceniza.....	32
3.4.3.    Caracterización de fibra .....	32
3.4.4.    Caracterización de grasa .....	33
3.4.5.    Descripción de la obtención del almidón.....	34
3.4.6.    Diagrama de flujo de la obtención de almidón .....	36
3.4.7.    Análisis físico químico del almidón.....	37
3.5.    Concentración óptima de ácido acético- glicerol en la elaboración de plástico biodegradable .....	38
3.5.1.    Descripción de la elaboración del plástico biodegradable .....	39

3.5.2.	Diagrama de flujo de la elaboración del plástico biodegradable ....	40
3.6.	Determinación de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable .....	41
3.6.1.	Espesor .....	41
3.6.2.	Fuerza de tensión.....	41
3.6.3.	Densidad.....	42
3.6.4.	Solubilidad .....	42
3.6.5.	Humedad .....	43
3.7.	Costo de producción y empaque comercial.....	44
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>45</b>
4.1.	Resultados de la caracterización de las cáscaras de papas .....	45
4.1.1.	Resultado del análisis físico químico del almidón.....	46
4.1.2.	Resultados del rendimiento del almidón .....	48
4.2.	Resultado de la concentración óptima de ácido acético-glicerol.....	49
4.3.	Resultados de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable	50
4.3.1.	Espesor .....	50
4.3.2.	Fuerza de tensión.....	55
4.3.3.	Densidad.....	58
4.3.4.	Solubilidad .....	62
4.3.5.	Humedad .....	65
4.3.6.	Curva de secado del bioplástico biodegradable .....	69
4.3.7.	Biodegradabilidad del bioplástico.....	73
4.4.	Resultados de costo de producción a nivel de laboratorio .....	74
4.4.1.	Costo de producción.....	74
4.4.2.	Empaque comercial .....	75
4.5.	Comprobación de hipótesis .....	76
4.5.1.	Hipótesis nula (Ho) .....	76
4.5.2.	Hipótesis alternativa (Hi) .....	76
4.5.3.	Verificación de hipótesis.....	77
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>.....</b>	<b>78</b>

5.1. CONCLUSIONES.....	78
5.2. RECOMENDACIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
ANEXOS .....	1
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	17

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b>	Clasificación taxonómica de la papa.....	8
<b>Tabla 2.</b>	Composición nutricional de la papa.....	9
<b>Tabla 3.</b>	Sectores de producción de la papa .....	10
<b>Tabla 4.</b>	Composición nutricional de la papa Chola .....	12
<b>Tabla 5.</b>	Composición nutricional de la papa Natividad.....	13
<b>Tabla 6.</b>	Composición de los residuos de cáscara de papa.....	14
<b>Tabla 7.</b>	Localización de la investigación .....	25
<b>Tabla 8.</b>	Situación geográfica y climática del cantón Guaranda.....	25
<b>Tabla 9.</b>	Factores de estudio .....	28
<b>Tabla 10.</b>	Tratamientos.....	29
<b>Tabla 11.</b>	Características del experimento .....	29
<b>Tabla 12.</b>	Anova.....	30
<b>Tabla 13.</b>	Resultados de la caracterización de la cáscara de papa Chola y Natividad .....	45
<b>Tabla 14.</b>	Resultados del análisis del almidón de papa.....	46
<b>Tabla 15.</b>	Rendimiento de la obtención del almidón.....	48
<b>Tabla 16.</b>	Concentraciones de ácido acético-glicerol para la elaboración de plástico biodegradable .....	49
<b>Tabla 17.</b>	Resultados del espesor del plástico biodegradable en mm .....	50
<b>Tabla 18.</b>	Análisis de varianza del espesor en el plástico biodegradable.....	51
<b>Tabla 19.</b>	Pruebas de rangos múltiples para el factor A del espesor del plástico biodegradable .....	52
<b>Tabla 20.</b>	Pruebas de rangos múltiples para el factor B del espesor del plástico biodegradable .....	53
<b>Tabla 21.</b>	Resultados de la fuerza de tensión del plástico biodegradable en N....	55
<b>Tabla 22.</b>	Análisis de varianza de la fuerza de tensión en el plástico biodegradable .....	56
<b>Tabla 23.</b>	Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la fuerza de tensión del plástico biodegradable.....	56
<b>Tabla 24.</b>	Resultados de la densidad del plástico biodegradable en g/mL.....	58

<b>Tabla 25.</b> Análisis de varianza de la densidad en el plástico biodegradable.....	59
<b>Tabla 26.</b> Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la densidad del plástico biodegradable .....	59
<b>Tabla 27.</b> Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la densidad del plástico biodegradable .....	60
<b>Tabla 28.</b> Resultados de la solubilidad del plástico biodegradable en % .....	63
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza de la solubilidad en el plástico biodegradable ....	64
<b>Tabla 30.</b> Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la solubilidad del plástico biodegradable .....	64
<b>Tabla 31.</b> Resultados de la humedad del plástico biodegradable en % .....	66
<b>Tabla 32.</b> Análisis de varianza de la humedad en el plástico biodegradable .....	67
<b>Tabla 33.</b> Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la humedad del plástico biodegradable .....	67
<b>Tabla 34.</b> Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la humedad del plástico biodegradable .....	68
<b>Tabla 35.</b> Variación de pérdida de peso del plástico biodegradable .....	70
<b>Tabla 36.</b> Biodegradabilidad del bioplástico en tierra.....	73
<b>Tabla 37.</b> Costo beneficio .....	74
<b>Tabla 38.</b> Comparación de F calculada con F de tablas para las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable .....	77



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág</b>
<b>Figura 1.</b>	Papa Chola.....	11
<b>Figura 2.</b>	Papa Natividad.....	13
<b>Figura 3.</b>	Estructura de los gránulos de almidón.....	17
<b>Figura 4.</b>	Medias del factor A del espesor del plástico biodegradable .....	52
<b>Figura 5.</b>	Medias del factor B del espesor del plástico biodegradable.....	53
<b>Figura 6.</b>	Interacción AB para el espesor del plástico biodegradable.....	54
<b>Figura 7.</b>	Medias del factor B de la fuerza de tensión del plástico biodegradable.....	57
<b>Figura 8.</b>	Medias del factor A de la densidad del plástico biodegradable .....	60
<b>Figura 9.</b>	Medias del factor B de la densidad del plástico biodegradable.....	61
<b>Figura 10.</b>	Interacción AB para la densidad del plástico biodegradable.....	62
<b>Figura 11.</b>	Medias del factor B de la solubilidad del plástico biodegradable .....	65
<b>Figura 12.</b>	Medias del factor A de la humedad del plástico biodegradable .....	68
<b>Figura 13.</b>	Medias del factor B de la humedad del plástico biodegradable .....	69
<b>Figura 14.</b>	Cinética de secado del plástico biodegradable .....	71
<b>Figura 15.</b>	Velocidad de secado del plástico biodegradable .....	71
<b>Figura 16.</b>	Etiqueta comercial .....	75

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Anexo 1.</b>	Mapa de ubicación de la investigación
<b>Anexo 2.</b>	Caracterización de la cáscara de la papa Chola y Natividad
<b>Anexo 3.</b>	Análisis del almidón de la cáscara de papa Chola y Natividad
<b>Anexo 4.</b>	Análisis físico químico del plástico biodegradable
<b>Anexo 5.</b>	Extracción de almidón
<b>Anexo 6.</b>	Elaboración del plástico biodegradable de almidón de cáscara de papa
<b>Anexo 7.</b>	Caracterización de la materia prima
<b>Anexo 8.</b>	Análisis del almidón de las cáscaras de papa
<b>Anexo 9.</b>	Análisis de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable
<b>Anexo 10.</b>	Biodegradabilidad el plástico
<b>Anexo 11.</b>	Etiqueta comercial

## RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue desarrollar un plástico biodegradable a partir de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*). A nivel mundial el plástico es uno de los materiales caracterizado fundamentalmente por su resistencia a la corrosión, transparencia, flexibilidad y durabilidad. La materia se recolectó de locales que elaboran comidas en la ciudad de Guaranda. Para determinar el mejor tratamiento se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado en arreglo factorial A\*B (2\*3) con tres repeticiones. Se caracterizó fisicoquímicamente la materia prima, cáscara de papa Chola y Natividad donde no presentaron diferencia significativa en sus resultados. El rendimiento del almidón extraído de la cáscara fue de 3,38 % papa Natividad y 2,49 % de la cáscara de papa Chola. Se determinó que la concentración óptima de ácido acético-glicerol para la elaboración de plástico biodegradable fue el T4 (a<sub>2</sub>b<sub>1</sub>), que corresponde a 5 g de almidón de la cáscara de papa Natividad con 2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol. Del análisis físico-mecánico se determinó el mayor valor en espesor es T4 con 0,35 mm, fuerza de tensión 25,56 N, densidad 1,67 g/mL, mientras que en solubilidad fue el T6 con 57,48 %, humedad 19,20 %. La biodegradabilidad del plástico el T4 se degradó un 75,54 % en 35 días. El costo de producción del plástico biodegradable de 5 g a nivel de laboratorio fue de 0,47 ctvs, valor accesible para la venta a industrias con fines de producir bolsas de plásticos biodegradables.

**Palabras claves:** Bioplástico, almidón, cáscara de papa, biodegradabilidad, fuerza de tensión.

## SUMMARY

The present research project was developed in the laboratory of Research and Linkage of the State University of Bolivar, which had as main objective to develop in a technological and agroindustrial way the obtaining of biodegradable plastic from potato peels (*Solanum tuberosum*), this because worldwide plastic is one of the materials characterized mainly by its resistance to corrosion, transparency, flexibility and durability. To determine the best treatment, an experimental design A\*B (2\*3) with three replications was carried out. The raw material, Chola potato peel and Natividad potato peel were characterized physicochemically and did not present significant differences in their results, the starch yield extracted from the peel was 3.38 % Natividad potato and 2,49 % from the Chola potato peel. It was determined that the optimum concentration of acetic acid-glycerol for the production of biodegradable plastic was T4, which corresponds to: 5 g of starch from nativity potato peel with 2 mL of acetic acid + 2 mL of glycerol. From the physical-mechanical analysis, the highest value in thickness was determined to be T4 with 0,35 mm, tensile strength 25,56 N, density 1,67 g/mL, while in solubility was T6 with 57,48 %, humidity 19,20 %. The biodegradability of the plastic T4 degraded 75,54 % in 35 days. The production cost of the 5 g biodegradable plastic at laboratory level was 0,47 ctvs, an affordable value for sale to industries for the production of biodegradable plastic bags.

**Key words:** Bioplastic, starch, potato peel, biodegradability, tensile strength.

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El mundo produce 300 millones de toneladas de plástico cada año, gran parte del cual termina en ríos y océanos, afectando la vida acuática y se espera que la cantidad de desechos en los océanos aumente para el año 2050 que crea irreversible daño al planeta (Alulema, 2022). Por otro lado, cada habitante de Ecuador produce un promedio de 0,58 kg de residuos sólidos y diariamente se recolecta un promedio de 12.897,98 kg (INEC, 2018).

Los tubérculos se encuentran entre las materias primas que podrían utilizarse como nuevas fuentes para la extracción de polímeros, puesto que juegan un papel importante en la alimentación a nivel mundial y además ayudan a satisfacer las necesidades energéticas de más de 2 mil millones de personas en países en vías de desarrollo, siendo la papa, camote, yuca los cultivos más trascendentales abarcando aproximadamente  $5 \times 10^7$  ha de sembríos (Guamán, 2019).

Ecuador cuenta con una extensa gama de materias primas disponibles para la elaboración de los bioplásticos, siendo la papa una alternativa adecuada para la fabricación de componentes amigables con el medio ambiente, debido a su alta disponibilidad, costo bajo y por su elevado contenido de almidón (Corozo *et al.*, 2020).

Las distintas variedades de papas han sido objeto de estudio debido a su alto contenido de almidón, elevado nivel de producción y propiedades favorables como la relación amilosa/amilopectina, el cual es un parámetro que determina el tiempo de degradación de este biomaterial (Kolawole *et al.*, 2020). La cáscara de papa contiene grandes cantidades de almidón, celulosa, hemicelulosa y azúcares

fermentables, en los estudios realizados el bioplástico procedente de la cáscara de papa presenta propiedades físicas y mecánicas similares a los plásticos convencionales (Vélez *et al.*, 2021).

Los bioplásticos son conocidos hace 150 años, pero han perdido importancia debido al auge de la industria petroquímica en la década de los 50, en la actualidad la protección hacia el ambiente y el desarrollo biotecnológico ha impulsado a retomar el desarrollo de nuevos bioplásticos (Pilay, 2022).

Los bioplásticos son compuestos macromoleculares producidos a partir de fuentes naturales, siendo el almidón la materia prima debido a su alta disponibilidad, carácter renovable, biodegradabilidad y económicamente competitiva en relación al petróleo (Riera, 2020).

Los productos biodegradables son materiales que se descomponen en corto período de tiempo bajo la influencia de microorganismos, sus propiedades biodegradables derivan de los recursos naturales su destrucción y eventual descomposición evita los vertederos y ayuda a reducir la contaminación del ecosistema (Cajahuaman & Huaranga, 2020).

## **1.2. PROBLEMA**

### **1.2.1. Planteamiento del problema**

A nivel mundial el plástico es el material más producido y se caracteriza fundamentalmente por su resistencia a la corrosión, transparencia, flexibilidad y durabilidad, del cual se derivan productos como los envases, bolsas y utensilios (Pilay, 2022). Además, en los últimos tiempos se ha producido un drástico aumento en el uso de materiales plásticos porque están presentes en muchos procesos de fabricación demostrando una tendencia agresiva a su demanda (Paredes, 2020).

Por otro lado, en Ecuador del total de los desechos generados el 42 % constituyen los desechos inorgánicos que no son biodegradables (Alulema, 2022). La cáscara representa el 2 % del total de la papa, el cual durante el procesamiento a nivel industrial no es aprovechada correctamente y estos desechos agroindustriales son utilizados generalmente como alimentos para los animales, al cual no se le otorga ningún valor agregado (Alvarado, 2021).

Los productos biodegradables son una alternativa razonable para mitigar esta problemática, siendo el almidón vegetal una de las opciones más accesibles para la obtención de productos biodegradables, debido a que son materiales que se descomponen en un corto periodo de tiempo bajo la acción de los microorganismos (Paredes, 2020). Por consiguiente, los bioplásticos a partir de almidón de la cáscara de papa es una opción ecológica ante la problemática de contaminación ambiental.

### **1.2.2. Situación problemática**

El plástico se descompone en 150 años, por lo que las alternativas incluyen bioplásticos de varios productos orgánicos, así como almidón de varios tubérculos que se descomponen fácilmente (Cárdenas, 2021).

La cáscara de papa posee altos porcentajes de almidón y tomando en consideración del procesamiento industrial existe un desperdicio de la cáscara del 15 al 40 % dependiendo de la técnica del pelado del tubérculo, además en Ecuador existe muy pocas industrias especializadas en la fabricación de bioplásticos que aprovechen este tipo de residuos orgánicos (Riera, 2018).

### **1.2.3. Formulación del problema**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la pregunta de investigación es la siguiente:

¿Cómo se podrá obtener plástico biodegradable a partir del almidón de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) empleando plastificantes como el ácido acético y el glicerol, mismas que puedan presentar propiedades similares al plástico tradicional?

### **1.2.4. Sistematización del problema**

Para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación se establecieron las siguientes interrogantes:

¿Qué análisis físico-químicos se realizará a la materia prima?

¿Cuál es la concentración óptima de ácido acético y glicerol para la elaboración de plástico biodegradable?

¿Presenta propiedades físico-mecánicas el plástico biodegradable?

¿El costo de producción es asequible para la población?



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar de manera Tecnológica y Agroindustrial la obtención de plástico biodegradable a partir de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*).

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las materias primas mediante un análisis fisicoquímico de la cáscara de papa.
- Determinar la concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)
- Determinar las propiedades físico-mecánicas (fuerza de tensión, humedad y solubilidad) en agua del plástico biodegradable de baja densidad a partir de almidón de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)
- Establecer los costos de producción y empaque comercial del plástico.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis nula (Ho)**

El plástico biodegradable elaborado a partir del almidón de la cáscara de papas (*Solanum tuberosum*) no presentó propiedades físico-mecánicas similares a las normativas del plástico común.

$$H_o = T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = \dots T_n$$

### **1.4.2. Hipótesis alternativa (Hi)**

El plástico biodegradable elaborado a partir del almidón de la cáscara de papas (*Solanum tuberosum*) presentó propiedades físico-mecánicas similares a las normativas del plástico común.

$$H_i = T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq \dots T_n$$

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Generalidades de la papa (*Solanum tuberosum*)

El cultivo se remonta a la época de los Incas, habiéndose encontrado evidencia de su uso hace más de 8.000 años en Bolivia, cerca del lago Titicaca en América del Sur, en la frontera entre Perú y Bolivia, la papa era el alimento básico de los incas, y debido a la gran demanda de la época, aumentaron la producción construyendo las primeras terrazas, donde también se cultivaron algunas otras hortalizas y plantas medicinales (Vizcaíno, 2017).

Es una planta de la familia de las solanáceas que originalmente fue domesticada y cultivada en América del Sur por personas de la región andina, la capacidad de la papa para adaptarse a diferentes temperaturas, tipos de suelo y condiciones climáticas determina cuándo se puede cosechar siendo generalmente entre 80 y 90 días, Perú, Colombia y otras naciones del mundo estaban entre los muchos territorios que la papa estaba conquistando (Alvarado, 2021).

La papa (*Solanum tuberosum*) tiene la mayor diversidad genética silvestre y se encuentran cultivadas en las tierras altas de los Andes de América del Sur, en las últimas tres décadas América Latina ha incrementado el aumento de producción por área en lugar de aumentar la superficie durante este tiempo se presenció un aumento del 2 % en la producción regional (Basantes *et al.*, 2022).

#### 2.2. Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa es uno de los cultivos más importantes dentro de los sistemas de producción en la serranía ecuatoriana, también es considerado como una de las actividades alimentarias y generadoras de ingresos más significativas de las familias

campesinas, este tubérculo se cultiva entre las zonas 2700 y 3400 msnm a lo largo del callejón interandino, pero aquellas entre 2900 y 3300 msnm tienen mejores rendimientos debido a temperaturas entre 9 y 11 °C (Zarabia, 2020).

Las papas forman un sistema de raíces fibrosas, el cual no superan los 60 cm, por lo tanto, las papas tienen raíces poco profundas en comparación con los cereales, que tienen raíces de hasta 120 cm de profundidad, este tubérculo no tiene muchas oportunidades de utilizar nutrientes y agua en la profundidad del suelo, por lo que el crecimiento de las raíces se produce a temperaturas entre 10 y 35 °C (Herrera & Tubay, 2021).

### 2.2.1. Taxonomía

La papa se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de la papa*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Solanum
Especie	<i>Solanum Tuberosum</i>

*Fuente:* López, (2021)

### 2.2.2. Morfología

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta que fue domesticada originalmente en los Andes y se caracteriza por ser una planta dicotiledónea, herbácea y anual con hojas alternas, flores de cinco pétalos de varios colores, sin frutas, siendo comestible sus semillas se utilizan únicamente para la mejora genética, los

tubérculos son órganos de almacenamiento y no solo se venden sino que también se utilizan como material de siembra debido a su capacidad para producir nuevas plantas (Zarabia, 2020).

### 2.2.3. Composición nutricional

La papa es una excelente fuente de energía, debido a su alto contenido de almidón que en promedio puede alcanzar con un aporte de 14 % de la energía requerida diariamente, también aporta proteínas y es una fuente de fósforo, hierro y niacina los cuales también intervienen en las diferentes funciones del organismo (Araque, 2019). Se detalla la información nutricional de la papa por cada 213 g.

**Tabla 2**

*Composición nutricional de la papa*

Descripción	Cantidad
Calorías	163 Kcal
Colesterol	0,0 mg
Grasa	0,2 g
Potasio	897 mg
Sodio	13 mg
Fibra dietética	4,7 %
Proteína	4,3 %
Azúcar	1,7 g
Vitamina C	70 %
Hierro	9 %
Calcio	2 %

*Fuente:* Santillán, (2022)

En las papas el agua es uno de los mayores componente nutritivos, dado que constituye el 80 % del contenido total de agua, seguido por la fibras que consisten en celulosa, sustancias pépticas y hemicelulosa con porcentajes que van del 1-2 % de las fibras totales en la pulpa de la papa, los lípidos presenta el 0,1 %, lo que significa que es un tubérculo con un contenido en grasa relativamente bajo y las proteínas constituyen el 2 % después de los carbohidratos (Isique & Sing, 2017).

#### 2.2.4. Producción

En la región de la Sierra del Ecuador se cultivaron 25.835 hectáreas con una producción de 408.313 toneladas de papa, en la zona costera existió 89 hectáreas de cultivo de papa con una producción de 176 toneladas, mientras que en la región de la Amazonía en el censo realizado por INEC no se informa la producción de este tubérculo (INEC, 2020).

Las provincias andinas tienen la mayor concentración de cultivos de papa, especialmente en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Azuay y Cañar, siendo la provincia del Carchi con la mayor producción del 40 % anual del país, la papa en el Ecuador representa el 7,4 % de la agricultura Producto Interno Bruto (PIB), todos los productos son utilizados por los ecuatorianos para el consumo interno, de los cuales el 90 % se comercializan como productos frescos y el resto se destina a la industria alimenticia (Mafla, 2019). En la provincia Bolívar anualmente se cultivan 3 100 has, en especial en los cantones de Guaranda, Chimbo, San Miguel y en Chillanes en menor escala con un rendimiento promedio de 10.2 Tm/ha (Monar & Silva, 2018).

**Tabla 3**

*Sectores de producción de la papa*

Zonas	Provincias	Altitud	Rendimiento (t/ha)	Producción anual (T)
Norte	Carchi, Imbabura	2.800 - 3.200	15,90	108,18
Centro	Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar	2.600 - 3.600	12,71	255,84
Sur	Cañar, Azuay y Loja	2.700-3.400	5,05	13,06

*Fuente:* Córdor, (2018)

### 2.3. Variedades de papa

En el Ecuador, las variedades INIAP-Natividad, INIAP-Estela y Súper Chola, son considerados como un alimento importante en la dieta diaria de los ecuatorianos, debido a la falta de investigación sobre estas variedades de papas pocas personas conocen sobre los usos agroindustriales que se les pueden dar a pesar que tiene un alto índice de cultivo (Cóndor, 2018).

### 2.4. Papa Chola (*Solanum tuberosum L*)

Esta variedad de papas es uno de los cultivos más sensibles a los cambios de temperatura, las noches frescas son ideales para el desarrollo de los tubérculos para evitar heladas, también es un tubérculo de tamaño mediano con piel rosada lisa y pulpa de color amarillo pálido con ojos claros, se cosecha a 3000 msnm durante su reproducción no debe faltar agua repartidas uniformemente a lo largo del crecimiento de la planta (Solano E. , 2018).

#### Figura 1

*Papa Chola*



*Fuente:* Novillo, (2016)

#### 2.4.1. Composición nutricional de la papa Chola (*Solanum tuberosum L*)

En la siguiente tabla se detalla la composición nutricional de la papa Chola:

**Tabla 4**

*Composición nutricional de la papa Chola (Solanum tuberosum L)*

Nutrientes	Cantidad (g)
Proteína	8,5
Fibra	2,5
Almidón	84,5
Potasio	1731
Hierro	4,2
Zinc	0,8

*Fuente:* Santillán, (2022)

#### 2.5. Papa Natividad (*Solanum tuberosum L*)

Esta variedad de papa tiene una resistencia moderada a la lancha, es muy vigorosa y de cobertura completa, después de la siembra florece a los 70 a 90 y la cosecha se da a los 120 y 145 días, lo que ofrece como ventaja, reducción de aplicaciones sanitarias, menor frecuencia de riego, el cual se verán reflejados en el costo beneficio, el tubérculo es alargado oblonga, pudiendo llegar a medir la planta entre 0,70 – 1,20 m de altura, su crecimiento es erecto y el tipo de brotación es múltiple (Gualoto, 2019). Una de las características de la variedad INIAP Natividad es la capacidad de adaptación a las condiciones climáticas imperantes en torno a los 2.800 y 3.200 m, en climas generalmente frío con temperaturas medias entre 6 y 15 °C (Gaibor, 2020).



## Figura 2

Papa Natividad (*Solanum tuberosum L*)



*Fuente:* INIAP, (2017)

### 2.5.1. Composición nutricional de la papa Natividad (*Solanum tuberosum L*)

En la siguiente tabla se identifica la composición nutricional de la papa Natividad.

**Tabla 5**

*Composición nutricional de la papa Natividad (*Solanum tuberosum L*)*

Características	Promedio
Materia seca	20,41 %
Azúcares totales	0,051 %
Azúcares reductores	0,02 %
Almidón	69,27 %
Gravedad específica	1,08 g cm <sup>-3</sup>

*Fuente:* Gaibor, (2020)

## 2.6. Cáscara de papa

Las cáscaras de papa son consideradas desechos con ningún valor, actualmente, existen estudios que prueban que las cáscaras de papas no son un desecho, sino un alimento que puede ser aprovechado como subproducto industrial, por su alto contenido en almidón, otra opción es licuarlo para producir etanol para uso en la producción de combustible, así también estudios han demostrado que la cáscara de papa es una materia prima excelente para la elaboración de bioplásticos (Alvarado, 2021). También se utiliza la cáscara de papa para conservar grasas y aceites debido a su contenido de antioxidantes naturales (Romero, 2021).

### 2.6.1. Composición de los residuos de la cáscara de papa

En la siguiente tabla se observa la composición de la cáscara de papa.

**Tabla 6**

*Composición de los residuos de cáscara de papa*

Parámetros	Peso seco (%)
Humedad	65,38
Carbohidratos totales	22,07
Azúcares solubles totales	1,00
Azúcares reductores	0,59
Almidón	1,30
Proteínas	6,62
Ceniza	3,04

*Fuentes:* Isique & Sing, (2017)

### **2.6.2. Almidón de cáscara de papa**

El almidón de papa tiene alto contenido de fósforo, alta viscosidad, fuerte capacidad de hinchamiento, alta transparencia de gel, no es fácil de degradar y partículas grandes, la alta calidad del almidón de papa se debe en parte a su mayor tamaño de grano, distribución, contenido mineral, proporción de la amilosa a amilopectina y alto contenido de fosfato de almidón (Peña, 2017).

La fécula de papa se caracteriza por ser un polvo fino de color blanco con una consistencia especial, insípido e inodoro, en comparación con el almidón de maíz y trigo, tiene una mayor viscosidad, lo que puede contribuir a la producción de productos más aceptables, se ha utilizado para procesar productos desechables como platos, vasos y cuchillos como una alternativa 100 % biodegradable al poliestireno (Guamán, 2019).

### **2.6.3. Usos agroindustriales del almidón**

El almidón en la industria alimentaria constituye una materia prima excelente para modificar la textura y consistencia de los alimentos, además tiene una gran utilidad en productos no alimentarios (Ayquipa, 2019).

- Adhesivos. En la fabricación de gomas, estampillas, encuadernación.
- Explosivos. Para el recubrimiento de las cabezas de fósforos.
- Papel. Pañales desechables.
- Construcción. Adhesivos separadores de hormigón y madera laminada.
- Metal. Como adhesivo de metal poroso y aglutinantes de fundición.
- Textiles. Estampado y acabado de telas.
- Cosméticos. Cremas faciales y maquillajes.
- Farmacéuticos. En el revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.

## **2.7. Polisacáridos**

Son compuestos de alto peso molecular y están conformados por más de diez monosacáridos enlazados con glucosídicos, presenta una solubilidad en el agua, además es de color blanco, no se cristalizan, no tienen poder reductor, algunos como el almidón forman soluciones coloidales (Cortina, 2020).

### **2.7.1. Celulosa**

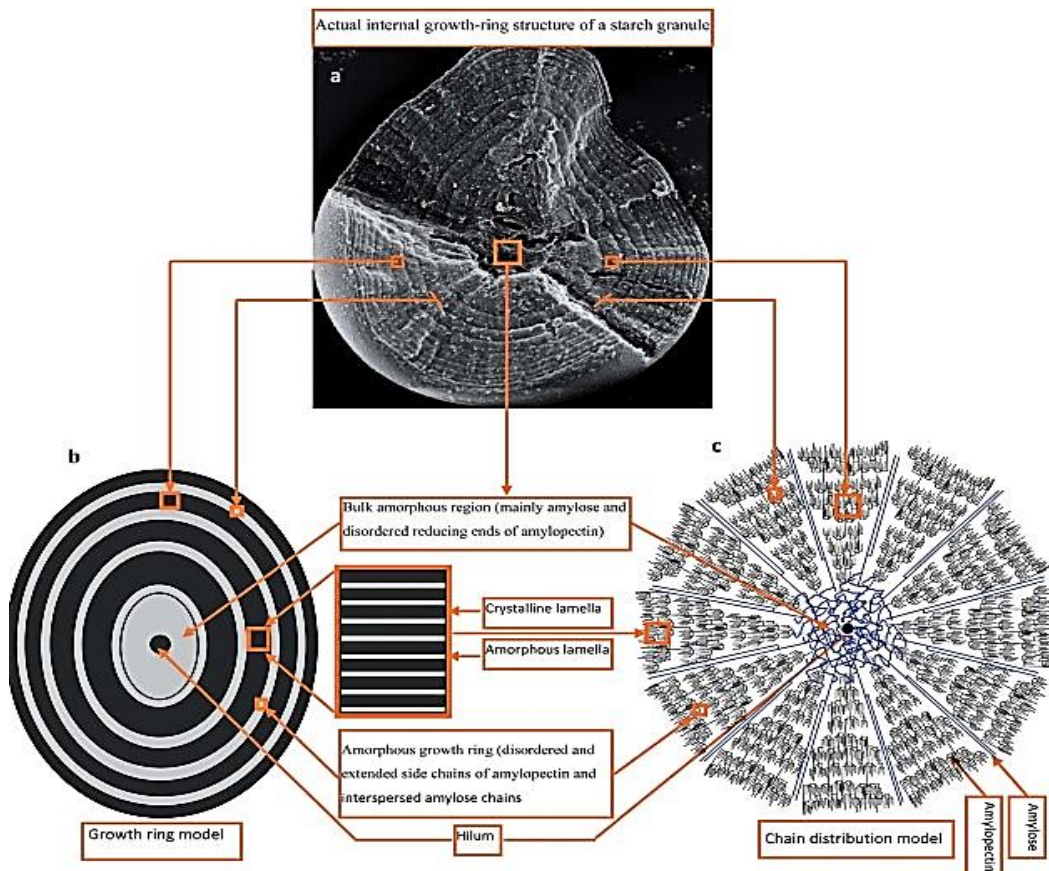
Cumple la función de formar la pared celular de la planta, la cual le da consistencia y forma, consiste en  $\beta$ -glucosa unida por enlaces 1-4, tienen una apariencia helicoidal y están unidos por enlaces de hidrógeno para formar microfibrillas, en algunos casos forman fibras que son observables a simple vista, es muy utilizado en la industria de elaboración de plásticos y papel (Torres, 2021).

### **2.7.2. Almidón**

Es un polisacárido que junto con la celulosa representa grandes reservas de carbohidratos, constituyendo la mayoría de los carbohidratos digeribles, es una macromolécula formada por el enlace repetido de la glucosa que a su vez forma dos tipos de cadenas, una de amilosa y otra de amilopectina, el contenido de estos polisacáridos varía según la fuente de almidón, todos los almidones se pueden utilizar en las industrias alimentarias y farmacéuticas, como aglutinante, estabilizador de espuma, plastificante, agente gelificante y agente humectante (Ruíz, 2022). La amilosa y la amilopectina, componen el 98 % del almidón natural en el 99 % de materia seca, con cantidades menores de lípidos, proteínas, minerales y fósforo en forma de fosfatos de glucosa (Cuenca, 2020).

**Figura 3**

*Estructura de los gránulos de almidón*



*Fuente:* Wang & Copeland (2013)

▪ **Amilosa**

La amilosa es una molécula lineal compuesta principalmente de  $\alpha$ -glucosa unida por enlaces  $\alpha$  1,4-glucosídicos, las papas constituyen del 20 % al 30 % de almidón, mientras que la amilopectina suele ser el componente principal en un 70 % a 80 % y consiste en muchas cadenas cortas de alrededor de 20 a 25 unidades de alfa-glucosa, un extremo de cada cadena está conectado a la siguiente unidad por un enlace glucosídico  $\alpha$ -1,6, formando una rama (Molina, 2022).

- **Amilopectina**

Está formada por cadenas de glucosa unidas por los enlaces  $\alpha$  (1,4) glucósidos, se pueden encontrar ramificaciones de 15 a 30 unidades, con la presencia de ramificación  $\alpha$  (1,6) las ramificaciones de la amilopectina dan un antecedente que es parcialmente soluble en agua caliente y los enlaces van hacer entre carbono de glucosa y 6 carbono de ramificación, la amilopectina está constituida aproximadamente del 75 o 83 % del peso del almidón (*Chulde, 2020*).

## **2.8. Bioplásticos**

Es un plástico derivado de recursos renovables y el tiempo de degradación es significativamente menor que el plástico derivado del petróleo, es una alternativa a la industria del plástico, los biopolímeros pueden reemplazar a los plásticos y se clasifican en: biopolímeros de celulosa y almidón derivados directamente de la biomasa, biopolímeros derivados de monómeros de origen biológico y biopolímeros derivados de organismos vivos (*Torres, 2021*).

### **2.8.1. Beneficios de los bioplásticos**

Tiene la capacidad de reducir los residuos plásticos acumulados en los vertederos, extender su vida útil y reducir el impacto en el medio ambiente, los bioplásticos se denominan materiales con polímeros básicos biodegradables y que cumplen con todos los criterios científicamente reconocidos de biodegradabilidad (*Jaso, 2020*).

*Juliño et al.*, (2021), mencionaron los siguientes beneficios de los bioplásticos:

- Reduce la huella de carbono.
- Ahorro de energía en la producción.
- No se utilizan materias primas no renovables.
- No contaminan el ambiente.

- Reducen los residuos no biodegradables.
- No poseen aditivos que son perjudiciales para la salud.
- No modifican el sabor y el aroma de los productos alimenticios.

### **2.8.2. Aplicaciones de los bioplásticos**

Los plásticos biodegradables se utilizan a menudo en áreas donde la biodegradabilidad es baja, son utilizados comúnmente en la agricultura con almohadas o macetas de plástico, no son desechados al finalizar su vida útil, convirtiéndose en la biomasa del suelo, las bolsas elaboradas con plásticos biodegradables han abierto un mercado donde se puede compostar con residuos orgánicos (Calderón & Castillo, 2022).

Juliño *et al.*, (2021), menciona que los bioplásticos son idóneos para varias aplicaciones de baja duración, el almidón y el ácido poliláctico son las principales materias primas para la elaboración de bioplásticos y otras aplicaciones industriales tales como, envasado de víveres, bolsas, láminas cobertores de suelo.

### **2.8.3. Norma NTE INEN para plásticos biodegradables**

La norma define un marco para la comparación y clasificación de las tasas de degradación controlada derivadas de laboratorio y los grados de pérdida de las propiedades físicas de los polímeros durante los procesos térmicos y foto oxidativos, así como la biodegradación y los efectos ecológicos después del uso, los entornos de disposición incluyen la disposición en el suelo, los vertederos y las compostas donde puede ocurrir la oxidación térmica (NTE INEN 2644, 2013).

## **2.9. Procesos para la elaboración de láminas biodegradables**

### **2.9.1. Gelificación**

Se define como la pérdida semicristalina de gránulos 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 dependiendo de la fuente de almidón (Menoscal & Rodríguez, 2017).

### **2.9.2. Retrogradación**

Es la insolubilidad y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa porque sus cadenas lineales están dispuestas en enlaces de hidrógeno similares, cada muestra de almidón es diferente a la degradación inversa que está relacionada con el contenido de amilosa (Guamán, 2019).

Hay dos vías de degradación inversa que también están controladas por la temperatura y la concentración del sistema: la vía rápida donde una solución de amilosa concentrada se calienta y airea rápidamente, la vía lenta donde las soluciones diluidas se vuelven opacas y precipitan cuando se calientan (Contreras, 2021).

### **2.9.3. Plastificante**

Se considera un plastificante a sustancias de baja volatilidad que les da flexibilidad y humedad a los polímeros. Este compuesto es muy importante para el reciclado de productos termoplásticos, por lo que su comportamiento como lubricante asegura la necesaria movilidad de las cadenas poliméricas correspondientes al almidón. (Espín, 2021).



#### **2.9.4. Glicerina**

Es una sustancia viscosa incolora con un sabor y olor dulce característico, se compone principalmente de alcoholes con tres grupos hidroxilo (OH), su fórmula molecular es  $C_3H_8O_3$  (Calderón & Castillo, 2022). No es tóxico, soluble en agua, se descompone a 100 °C, al igual que el agua destilada, la glicerina se considera un emoliente que proporciona suavidad y humedad al almidón (Arguello & Torres, 2021).

#### **2.9.5. Reticulación**

En este proceso se conectan largas cadenas que forman el polímero mediante un enlace covalente que aumenta el peso molecular del polímero, en el proceso de microencapsulación los enlaces forman enlaces covalentes que son muy estables mecánica y térmicamente, una vez formado dichos enlaces son extremadamente difíciles de romper (Calderón & Castillo, 2022).

#### **2.9.6. Melamina**

Es un compuesto orgánico que se combina con formaldehído y se produce resina de melamina que es un polímero sintético resistente al calor y al fuego, la melamina se forma a 70 °C durante 15 min, pero conserva su forma sólida al enfriarse, lo que la convierte en un ideal para algunas aplicaciones industriales (Gómez, 2020).

#### **2.9.7. Ácido acético**

Es un líquido incoloro de olor característico y fácilmente soluble en agua, es conocido también como ácido acético por ser un ácido orgánico que se encuentra principalmente en el vinagre, es un aditivo propuesto como modificador químico porque reduce la hidrofilia del almidón, tornando la sustancia hidrofóbica (Fernández *et al.*, 2021).

## **2.10. Caracterización del bioplástico**

### **2.10.1. Humedad**

Es una pequeña cantidad de agua dispersa en forma de vapor, condensada en sólidos o en superficies, los procedimientos de secado más comunes para determinar el contenido de humedad de ciertos productos se realizan con calor y según normas establecidas, la cuantificación del contenido de humedad tiene una función esencial para probar la calidad de dicho producto a escala industrial (Naranjo *et al.*, 2021).

### **2.10.2. Densidad**

Es una de las propiedades físicas importantes que se relaciona directamente con la estructura química, el tamaño de celdas y el número de celdas abiertas o cerradas, la densidad depende de la cantidad que se usa de agua en una formulación que asuma poliuretano la misma que es expresada como  $\text{kg/m}^3$  (Pérez, 2019).

### **2.10.3. Espesor**

Es el ancho de la capa del material en ingeniería, el espesor determina la resistencia eléctrica o elasticidad de un material, que puede determinarse mediante medición directa con un micrómetro (Sánchez, 2017). En la industria de los recubrimientos, la medida más importante es el espesor de película seca, ya que proporciona una visión general importante de la vida útil del material, la capacidad del producto para el propósito previsto y la apariencia que brinda, además de garantizar la certificación, regulaciones internacionales (Guamán, 2019).

#### **2.10.4. Fuerza de tensión**

Es la propiedad de alargamiento por tracción puede determinar el punto final de degradación, pueden variar según el espesor de la muestra, el método de fabricación, la velocidad de la prueba, el tipo de mordazas utilizadas y la forma en que se mide la elongación de la prueba, por lo tanto, la prueba muestra la resistencia a la tracción y la tensión de rotura que puede soportar el material en cuestión (Guamán, 2019).

#### **2.10.5. Permeabilidad**

Es la tasa de transmisión de vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión entre dos superficies especificadas bajo condiciones de temperatura y humedad, en estos valores se utilizan en el diseño, fabricación y comercialización de materiales, las condiciones de prueba deben elegirse de acuerdo con el entorno práctico más cercano, ya que el vapor de agua es importante en papel, materiales plásticos y láminas (Chicaiza, 2019).

#### **2.10.6. Biodegradabilidad**

Se define como capaz de descomponer en dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, el mecanismo es principalmente la actividad enzimática de los microorganismos que se puede medir mediante pruebas estándares durante el tiempo, lo que refleja las condiciones de eliminación disponible, es el proceso mediante el cual los organismos vivos o sus enzimas descomponen o reducen los materiales poliméricos en pequeñas partículas o moléculas de modo que el carbono de los materiales finalmente regresa a la biosfera (García, 2017).

### **2.10.7. Solubilidad**

La solubilidad en agua es una propiedad física importante que determina si una película se degrada fácilmente, cuanto mayor es la solubilidad, menos resistentes al agua son las películas, siendo probable que se rompa, esta propiedad es importante porque indica su funcionalidad, independientemente funciona para alimentos con mucha o poca humedad (Criollo, 2019).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación y características de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar.

##### 3.1.1. Localización de la investigación

Se detalla la localización donde se desarrolló la presente investigación.

**Tabla 7**

*Localización de la investigación*

Ubicación:	Localidad
Provincia:	Bolívar
Cantón:	Guaranda
Sector:	Laguacoto II
Parroquia:	Veintimilla
Dirección:	Laguacoto I km ½ vía Guaranda-San Simón
Establecimiento:	Universidad Estatal de Bolívar

##### 3.1.2. Situación geográfica y climática

Se da a conocer la situación geográfica y climática donde se desarrolló la presente investigación.

**Tabla 8**

*Situación geográfica y climática del cantón Guaranda*

Parámetros	Valor
Altitud	2800 msnm
Latitud	01°36'40" sur
Longitud	78°59'50" oeste
Temperatura mínima	8 °C
Temperatura media anual	14,4 °C
Temperatura máxima	21 °C
Humedad	30 %

*Fuente:* Estación Meteorológica Laguacoto II Guaranda-Ecuador (2023)

### **3.1.3. Zona de vida**

Según L. Holdridge, los sitios donde se realizó la investigación corresponden a los bosques húmedos de tierras bajas o montañas templadas con temperaturas entre 12 y 18 °C. La precipitación es de 2.000 mm y cubre una superficie de 4.588 kilómetros cuadrados.

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Materia experimental**

- Cáscara de papa Chola (*Solanum tuberosum L*)
- Cáscara de papa Natividad (*Solanum tuberosum L*)

### **3.2.2. Material de campo**

- Cuchillos
- Cocina
- Fundas con sello hermético
- Colador

### **3.2.3. Materiales de laboratorio**

- Crisoles
- Cronómetro
- Termómetro
- Vasos de precipitación de 1000 - 3000 mL
- Probetas de 10 - 100 mL
- Espátula
- Pipetas 10 mL
- Bolsas film herméticas
- Tamiz N° 225 y 270

- Matraz Erlenmeyer

#### **3.2.4. Equipos**

- Balanza analítica
- Balanza digital
- Cocina Eléctrica
- Estufa
- Licuadora Industrial
- Horno mufla
- Extractor de fibra
- Extractor de grasa
- Plancha de calentamiento
- Equipo baño maría
- Micrómetro
- Dinamómetro

#### **3.2.5. Reactivos**

- Hexano grado HPLC 99,9 %
- Metanol
- Ácido sulfúrico
- Hidróxido de sodio
- Ácido acético
- Ácido cítrico
- Glicerol

### 3.2.6. Materiales de oficina

- Libreta de apuntes
- Bolígrafos
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Cuaderno
- Marcadores
- Impresora
- Regla
- Flash memory

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Factores de estudio

En la obtención de plástico biodegradable a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*), se plantearon dos factores de estudio: factor A, con sus dos niveles variedades de cáscara de papa Chola y papa Natividad, factor B, con sus tres niveles de combinación de plastificante ácido acético y glicerol.

**Tabla 9**

*Factores de estudio*

Factores	Código	Niveles
Variedades de cáscara de papas	A	a <sub>1</sub> : Cáscaras de papa Chola
		a <sub>2</sub> : Cáscaras de papa Natividad
Combinación de plastificante	B	b <sub>1</sub> : Ac. acético 2 mL + glicerol 2 mL
		b <sub>2</sub> : Ac. acético 5 mL + glicerol 4 mL
		b <sub>3</sub> : Ac. acético 8 mL + glicerol 6 mL



### 3.3.2. Tratamientos

Se detallan los tratamientos propuestos.

**Tabla 10**

*Tratamientos experimentales*

Tratamiento	Código	Descripción nivel	
		A	B
T1	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 2 mL + glicerol 2 mL
T2	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 5 mL + glicerol 4 mL
T3	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 8 mL + glicerol 6 mL
T4	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 2 mL + glicerol 2 mL
T5	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 5 mL + glicerol 4 mL
T6	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 8 mL + glicerol 6 mL

### 3.3.3. Características del experimento

Se da a conocer las características del experimento

**Tabla 11**

*Características del experimento*

Características del experimento	
Número de factores experimentales	2
Niveles para el factor A	2
Niveles para el factor B	3
Réplicas	3
Número de unidades experimentales	18
Tamaño de unidad experimental	5 g

### 3.3.4. Tipo de diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado en arreglo factorial

A\*B (2\*3) con tres repeticiones.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

**Donde:**

$Y_{ijk}$ : Variable sujeta de medición

$\mu$ : Media general

$\alpha_i$ : Efecto debido al i-esimo nivel del factor A

$\beta_j$ : Efecto del j-esimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto de interacción en la combinación ij

$\varepsilon_{ijk}$ : Error aleatorio

### 3.3.5. Análisis de varianza (Anova)

Se da a conocer el modelo de Análisis de varianza.

**Tabla 12**

*Anova*

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$	Valor-p
Efecto A	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0^B)$
Efecto AB	$SC_{AB}$	$(a-1)(b-1)$	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	$SC_E$	$ab(n-1)$	$CM_E$		
Total	$SC_T$	$abn - 1$			

### 3.3.6. Pruebas de rangos múltiples

Se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para determinar si los tratamientos correspondientes difieren significativamente.

#### Método LSD

$$LSD_A = t_{(\alpha-2),ab(n-1)} \sqrt{CME \left( \frac{1}{n_{A_i}} + \frac{1}{n_{A_l}} \right)}$$

#### Donde:

*LSD*: Diferencia mínima significativa

*t*: Tabla de Fisher

*gl error*: Grados de libertad del error

*CME*: Cuadrado medio del error

*n<sub>i</sub>*: Número de réplicas del primer nivel

*n<sub>j</sub>*: Número de réplicas del segundo nivel.

### 3.4. Caracterización de la materia prima

#### 3.4.1. Caracterización de la humedad

El método empleado para la determinación de humedad fue AOAC 925.10. Se pesó 3 g de cáscara de papa Chola y Natividad, en las cápsulas de porcelana, con una pinza se colocó en una estufa a 130 °C durante 1 h, las cápsulas de porcelana se colocaron en un desecador durante 40 min hasta llegar a un peso constante.

Para determinar el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_a - M_b}{M_a - M} * 100$$

**Donde:**

$M$ : Masa en g de la cápsula

$M_a$ : Masa en g de la cápsula + la muestra

$M_b$ : Masa en g de la cápsula + la muestra seca.

**3.4.2. Caracterización de la ceniza**

Para el contenido de ceniza se aplicó la norma AOAC 923.03. Se procedió a pesar 1 g de cáscara de papa Chola y Natividad en los crisoles de porcelana previamente pesados, posteriormente los crisoles fueron colocados en un horno mufla y se incineró durante 1 h a 550 °C, para finalizar los crisoles fueron colocados por 40 min en un desecador hasta obtener pesos constantes.

En la determinación del porcentaje de ceniza se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} * 100$$

**Donde:**

$C_1$ : Masa del crisol vacío en g

$C_2$ : Masa del crisol con la muestra en g

$C_3$ : Masa del crisol con las cenizas en g

**3.4.3. Caracterización de fibra**

En la determinación de la fibra se aplicó la norma WEENDE. Se pesó 0,5 g de muestra de cáscara de papa en un Erlenmeyer y se añadió 100 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, durante 1 h se colocó en una plancha de calentamiento para realizar la digestión, los residuos de la digestión se colocó nuevamente en una plancha de calentamiento con 100 mL de NaOH por 1 h, luego se filtró y lavó con agua caliente, los desechos fueron se llevaron a secar en una estufa durante 40 min a una temperatura de 130

°C, para culminar con el proceso se colocó en un desecador por 40 min hasta adquirir pesos constantes.

Para calcular la fibra se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.**

$$\text{Contenido de fibra \%} = \left( \frac{W_2}{W_1} \right) * 100$$

**Donde:**

$W_2$ : Peso de muestra en g

$W_1$ : Peso del residuo en g

**3.4.4. Caracterización de grasa**

Para determinar el porcentaje de grasa se desarrolló de acuerdo a la norma AOAC 2003.06. Consistió en pesar 1 g de muestra de cáscara de papa Chola, Natividad y colocar en dedales de celulosa, sellados con algodón para luego ser colocados en el equipo determinador de grasa, en los casos se adicionó 50 mL de  $C_6H_{14}$  de grado HPLC durante 1 h a una temperatura de 80 °C, seguidamente se separó el  $C_6H_{14}$  de la grasa para ser llevados a la estufa durante 40 min a 130 °C, para culminar con el proceso se dejó por 40 min en un desecador para adquirir pesos constantes.

Se aplicó la siguiente ecuación para la determinación de la grasa:

**Ecuación 4.**

$$\% \text{ grasa} = \frac{P_2 - P_1}{\text{muestra}} * 100$$

**Donde:**

$P_2$ : Peso del caso final

$P_1$ : Peso de caso inicial

### 3.4.5. Descripción de la obtención del almidón

Para la obtención de almidón se realizaron las siguientes etapas:

- a. Recepción de la materia prima
- b. Lavado
- c. Troceado de la cáscara de papa
- d. Inmersión en solución acida
- e. Licuado
- f. Filtrado
- g. Sedimentación
- h. Separación solida/liquido
- i. Secado
- j. Triturado
- k. Tamizado
- l. Almacenado

A continuación, se describe cada una de las etapas para la obtención del almidón.

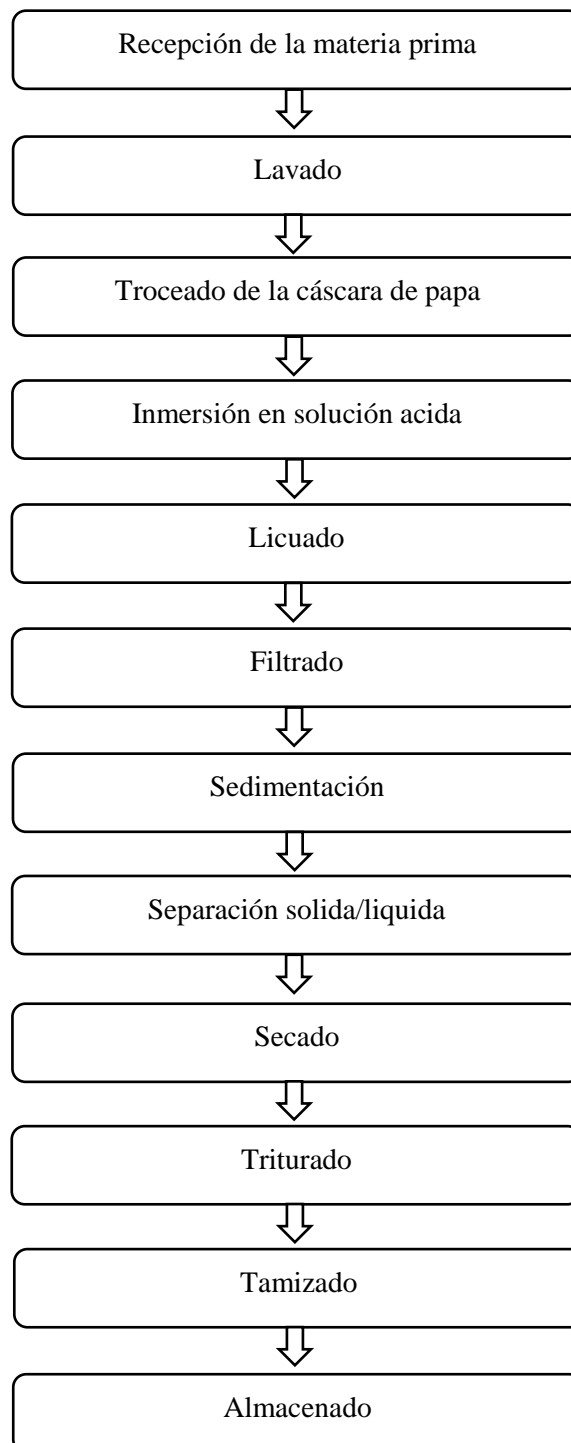
- a. Recepción de la materia prima.** Las cáscaras de papa Chola y Natividad fueron recolectadas de los diferentes establecimientos que preparan comida de la ciudad de Guaranda trasladados al Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar para el proceso de extracción de almidón.
- b. Lavado.** Las cáscaras de papa fueron lavadas con abundante agua para eliminaron el exceso de tierra que se encontraban adheridas a la misma de esta forma obtendremos nuestra materia prima libre de suciedad.

- c. **Troceado de la cáscara de papa.** Cortamos las cáscaras de la papa Chola y Natividad en cuadritos de 1 cm con un cuchillo de acero inoxidable para reducir la materia prima en trozos.
- d. **Inmersión en solución acida.** Introducimos las cáscaras cortadas un recipiente que contenga agua con una solución de Ácido cítrico al 2 % durante 5 min pasado el tiempo se procederá a retirar y lavarlos y evitaremos la oxidación.
- e. **Licudo.** Procedemos a triturar las cáscaras de las dos variedades de papa para cambiar de una consistencia solida a liquida obteniendo una sustancia lechosa.
- f. **Filtrado.** Pasamos el resultado del licuado de las dos variedades de papa, en una tela films para separar las partículas de gran tamaño y los residuos no deseados.
- g. **Sedimentación.** Separamos las partículas sólidas dispersas en un líquido por medio de la gravedad se colocaron en un recipiente se le añade agua y se procedió a sedimentar durante 4 h.
- h. **Separación sólida/ líquido.** En esta etapa del proceso se aparta el agua del almidón y colocamos el almidón en recipientes de acero inoxidable obteniendo una masa con elevado porcentaje de sólido.
- i. **Secado.** Eliminamos total mente la humedad de la masa del almidón en una estufa a 40 °C durante 5 h obteniendo el almidón seco.
- j. **Triturado.** Al almidón seco compactado durante la etapa del secado procedemos a moler con la ayuda de un mortero y de esta forma reducir al almidón en partículas de menor tamaño.

k. **Tamizado.** Separamos el tamaño de las partículas del almidón triturado utilizando un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  del que se obtiene partículas de almidón con un tamaño similar.

l. **Almacenado.** Finalmente ordenamos y se guardamos al almidón en bolsas de polietileno con cierre films a temperatura ambiente para su posterior uso.

#### 3.4.6. Diagrama de flujo de la obtención de almidón





### 3.4.7. Análisis físico químico del almidón

Al almidón de las cáscaras de papa Chola y Natividad, se analizó los siguientes parámetros:

- **Capacidad de absorción de agua**

Se realizó mediante el método descrito por Anderson *et al.*, (1970), estos indicadores se determinan utilizando la capacidad de absorción de agua de los gránulos de almidón y la lixiviación de la fracción de almidón a medida que aumenta la temperatura de la suspensión de almidón.

Para calcular la capacidad de absorción de agua del almidón se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 5.**

$$IAA = \frac{Pdg (g)}{Pm(g)bs}$$

**Donde:**

*IAA*: índice de absorción del agua

*Pdg*: peso del gel en g

*Pm*: peso de la muestra en g de bs

- **Transparencia**

Para el análisis de la transparencia del almidón, se realizó mediante el método de Bello *et al.*, (1999), donde se preparó una suspensión de 0,2 g de una muestra de almidón de cáscara de papa Chola y Natividad, en 5 mL de agua destilada en tubos de ensayos, posterior fueron llevados a baño maría, seguidamente se agitaron los tubos cada 5 min, después se dejó enfriar a temperatura ambiente y con un espectrofotómetro se determinó el porcentaje de transmitancia a 650 nm.

- **Humedad**

El almidón de cáscara de papa Chola y Natividad se analizaron mediante el método AOAC 925.10. Se pesó 3 g de almidón en estudio en las cápsulas de porcelana previamente pesadas, colocar durante 1 h en la estufa a 130 °C, posteriormente las cápsulas fueron colocadas en un desecador durante 40 min hasta obtener un peso constante.

Para calcular la humedad del almidón se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 6.**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_a - M_b}{M_a - M} * 100$$

**Donde:**

$M$ : Masa en g de la cápsula

$M_a$ : Masa en g de la cápsula + la muestra

$M_b$ : Masa en g de la cápsula + la muestra seca

### **3.5. Concentración óptima de ácido acético- glicerol en la elaboración de plástico biodegradable**

Para la elaboración de plástico biodegradable se utiliza las dos variedades de almidón obtenidos de la cáscara de papa y los reactivos en diferentes concentraciones posteriormente utilizamos el método de casting descrito por Solano et al.,( 2018), una vez mesclado las soluciones se procede a evaporar el disolvente a una temperatura y humedad controladas, de esta forma se realiza la película del bioplástico.

### 3.5.1. Descripción de la elaboración del plástico biodegradable

Para la elaboración del plástico biodegradable se realizaron las siguientes etapas:

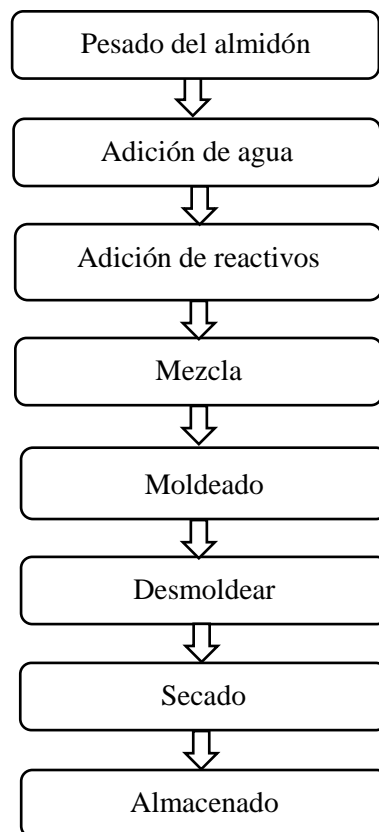
- a. Pesado de almidón
- b. Adición de agua
- c. Adición de reactivos
- d. Mezcla
- e. Moldeado
- f. Secado
- g. Desmoldeado
- h. Almacenado

A continuación, se describe cada una de las etapas para la elaboración de plástico biodegradable.

- a. Pesado del almidón.** Se pesa 5 g de almidón de las cáscaras de la papa Chola y Natividad en un vaso de precipitación de 500 mL.
- b. Adición de agua.** Al almidón de la cáscara de papa, se adiciona 55 mL de agua y se procedió a disolver el almidón con la ayuda de una varilla de vidrio y se calentó en una estufa eléctrica controlando la temperatura hasta los 45 °C con la ayuda de un termómetro digital.
- c. Adición de reactivos.** Cuando la temperatura de la mezcla alcanzó los 45 °C, se agrega el ácido acético y al alcanzar los 55 °C, se adiciona el glicerol según sean los tratamientos para que obtenga flexibilidad los polímeros en el producto final.

- d. **Mezcla.** Todos los ingredientes usados en la elaboración del plástico biodegradable, se mezclaron utilizando una varilla de vidrio a una temperatura de 75 °C obteniendo una pasta homogénea.
- e. **Moldeado.** Para obtener las láminas de plásticos biodegradable, las mezclas fueron colocadas en recipiente de vidrio pyrex.
- f. **Secado.** La mezcla se secó en una estufa a 50 °C durante 15 h, luego de lo cual se retiró el plástico biodegradable.
- g. **Desmoldeado.** Se despega la lámina del plástico biodegradable del recipiente de vidrio pyrex.
- h. **Almacenado.** Para culminar el proceso se almacenó el plástico biodegradable en bolsas de cartón en condiciones ambientales.

### 3.5.2. Diagrama de flujo de la elaboración del plástico biodegradable



### **3.6. Determinación de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable**

#### **3.6.1. Espesor**

Para la determinación del espesor del plástico biodegradable, se desarrolló de acuerdo a la investigación realizada por Basiak *et al.*, (2017), donde se procedió a medir con un pie de rey digital con una precisión de 1  $\mu\text{m}$  en el intervalo de 0 a 100  $\mu\text{m}$  y de 5  $\mu\text{m}$  en el intervalo de 100 a 1000  $\mu\text{m}$ . Para empezar a medir el espesor del plástico biodegradable, el medidor electrónico se calibró a 0 y 139  $\mu\text{m}$ , utilizando patrones para cubrir la gama de espesores de las muestras, el grosor del plástico biodegradable se midió después de despegar del molde pyrex.

#### **3.6.2. Fuerza de tensión**

Para la determinación de la fuerza de tensión, se realizó según la metodología empleada por Ortega & Mejía (2022), donde consistió utilizar un dinamómetro de 100 N y un soporte universal, se procedió a cortar el plástico biodegradable de 15 cm de largo y 3 cm de ancho, posteriormente fueron colocados en el gancho de dinamómetro y se estira hasta alcanzar su punto de ruptura.

Para calcular la fuerza de tensión del plástico biodegradable se aplicó la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 7.**

$$\sigma = \frac{f}{a}$$

**Donde:**

$\sigma$ : esfuerzo máximo en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  o MPa

$f$ : fuerza en kg

$a$ : área  $\text{cm}^2$

### 3.6.3. Densidad

Para la densidad del plástico biodegradable, se realizó de acuerdo a la investigación realizada por Rosales (2016), se tomó una muestra de bioplástico en estudio y se procedió a pesar en una balanza analítica 5,6 g, posterior a ello se colocó 50 mL de agua destilada en una probeta de 100 mL, cuidadosamente se introdujo la muestra del bioplástico en la probeta hasta quedar sumergido completamente la cantidad del nivel del agua que sube es el volumen del plástico en cm<sup>3</sup>.

Para calcular la densidad del plástico biodegradable se aplicó la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 8.**

$$d = \frac{m}{v}$$

#### **Donde:**

*d*: densidad

*m*: masa

*v*: volumen

### 3.6.4. Solubilidad

Para la determinación de la solubilidad del plástico biodegradable, se realizó de acuerdo a la metodología empleada por Morocho (2021), en una probeta de 100 mL se colocó 80 mL de agua desionizada, luego se procedió a introducir el plástico biodegradable seco y con una agitación a 100 rpm durante 1 h fue homogenizado, posteriormente la solución fue filtrada y fue colocado en una estufa a 40 °C hasta que las muestras se encuentren secas, continuando con el proceso se aumentó la temperatura a 105 °C donde se adquirió un peso constante.

Se aplicó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de solubilidad.

Para calcular la solubilidad del plástico biodegradable se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 9.**

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

**Donde:**

*P<sub>i</sub>*: peso inicial seco.

*P<sub>f</sub>*: peso final seco

**3.6.5. Humedad**

Para la determinación de la humedad en el plástico biodegradable, se realizó por el método AOAC Ed 19, 2012 925.10. Se pesó 3 g de plástico biodegradable y se procedió a secar a 130 °C durante 1 h, siguiendo con el proceso con una pinza se colocó en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Para calcular el porcentaje de humedad del plástico biodegradable se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 10.**

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

**Donde:**

*P<sub>i</sub>*: peso inicial de las láminas

*P<sub>f</sub>*: peso final de las láminas

### **3.7. Costo de producción y empaque comercial**

Se realizó el análisis de costo de producción en relación al costo beneficio de la elaboración plástico biodegradable del mejor tratamiento, donde se tomaron en consideración todos los insumos, así como los reactivos que son necesarios para la elaboración de este producto.

Para calcular el costo de producción del plástico biodegradable se aplicó la siguiente ecuación:

**Ecuación 11.**

$$PVP = \frac{\text{Costo de producción}}{1 - \% \text{ utilidad}}$$



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de la caracterización de las cáscaras de papas

A continuación, se presentan los resultados adquiridos mediante la caracterización de las cáscaras de papa Chola y papa Natividad para la elaboración de un plástico biodegradable.

**Tabla 13**

*Resultados de la caracterización de las cáscaras de papa Chola y Natividad*

Parámetros	Método	Cáscara de papa Chola	Cáscara de papa Natividad
		%	%
Humedad	AOAC 925.10	80,79	82,47
Ceniza	AOAC 923.03	1,38	1,51
Fibra	WEENDE	3,94	2,58
Grasa	AOAC 2003.6	0,10	0,02

Se evidencia los parámetros analizados con sus respectivos métodos, donde la cáscara de papa Natividad presentó mayores porcentajes en humedad y ceniza, mientras que la cáscara de la papa Chola adquirió mayores resultados en fibra y grasa, estos resultados identificados no varían significativamente debido a sus características similares como el color de la cáscara que presenta estas dos variedades de papas.

Guamán (2022), realizó un análisis de humedad y ceniza en la cáscara de papa súper Chola para la obtención de una biopelícula, donde encontró los siguientes resultados: humedad 83,07 %, ceniza 0,94 %, estos valores son similares a los de nuestra investigación. De igual manera Vega (2020), realizó un estudio de las

propiedades físico químicas de la cáscara de papa súper Chola, donde adquirió los siguientes resultados; grasa 1,77 % y ceniza 4,22 %.

Ruíz (2022), dio a conocer la caracterización de la cáscara de la papa Natividad encontrándose con 2,20 % de fibra y 4,76 % de ceniza, en cuanto a ceniza el autor adquirió un porcentaje elevado con respecto a nuestra investigación esto pudiendo atribuirse a las condiciones del suelo donde fue cultivada las papas ya que el suelo proporciona minerales al tubérculo viéndose reflejado en el porcentaje de ceniza. Del mismo modo Natividad *et al.*, (2022), adquirió un resultado de 3,15 % de ceniza en la cáscara de papa Natividad.

#### 4.1.1. Resultado del análisis físico químico del almidón

Una vez adquirido el almidón de las cáscaras de las dos variedades de papa, se realizó los siguientes análisis como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 14**

*Resultados del análisis del almidón de papa*

Análisis	Método	Unidad	Cáscara de papa Chola	Cáscara de papa Natividad
Capacidad de absorción de agua	Anderson <i>et al.</i> , 1997	g/g de almidón	60 °C: 23,24±0,29	60 °C: 24,45±3,09
			70 °C: 23,44±0,45	70 °C: 32,57±2,73
			80 °C: 27,95±1,03	80 °C: 33,30±1,21
			90 °C: 28,73±0,34	90 °C: 36,93±0,94
Transparencia	Bello - Pérez <i>et al.</i> , 1999	% transmitancia	15,82±0,69	15,27±0,99
Humedad	AOAC 925.10	%	15,13	12,82

Se evidencia los resultados de capacidad de absorción de agua, transparencia y humedad, donde se detalla que los valores de la absorción de agua incrementan a medida que la temperatura se aumenta, dando como resultado una capacidad de absorción más alta en el almidón de la cáscara de papa Natividad.

La capacidad de absorción de agua está directamente correlacionada con el incremento de la temperatura de preparación del almidón, tal como lo reportan (Chen *et al.*, 2015).

En la investigación realizada por Pozo & Lechón (2022), en el almidón de la cáscara de papa súper Chola encontró que la mayor capacidad de absorción de agua fue a una temperatura de 90 °C con 20,68 g agua/g almidón, mientras que en nuestra investigación fue de 28,73 g agua/g almidón a la misma temperatura, esta diferencia de resultados estaría relacionado al tamaño del gránulo del almidón y la presencia de grupos hidrofílicos que retienen el agua, como menciona (Mbougoung *et al.*, 2012).

Pozo & Lechón (2022), determinaron la transparencia del almidón de la cáscara de papa súper Chola con una transmitancia de 15,80 %, este resultado es similar a los encontrados en nuestra investigación, la transparencia es un parámetro que da brillantez u opacidad al producto.

En el estudio realizado por Guamán (2019), el contenido de humedad en el almidón de la cáscara de papa súper Chola fue de 11,56 %, de manera similar Guamán (2021), adquirió una humedad de 12,37 % en la cáscara de la papa súper Chola.

Martínez *et al.*, (2015), en el almidón de la cáscara de papa Natividad, demostró que la mayor capacidad de absorción de agua fue a 90 °C con 22,07 g agua/g

almidón, mientras que en nuestra investigación la capacidad de absorción fue de 36,96 g agua/g almidón a 90 °C.

Mbougueng *et al.*, (2012), en la transparencia en el almidón de cáscara de papa Natividad encontró una transmitancia de 29,15 % resultado que difiere con nuestra investigación, debido al poder de hinchamiento del almidón.

Martínez *et al.*, (2015), en la humedad del almidón de la cáscara de papa Natividad encontró un porcentaje de 14,28 %, resultado similar a nuestro trabajo investigativo.

#### **4.1.2. Resultados del rendimiento del almidón**

Los resultados del rendimiento de la obtención del almidón de la cáscara de papa de las dos variedades en estudio se detallan a continuación.

**Tabla 15**

*Rendimiento de la obtención del almidón*

Variables	Cáscara de la papa Chola	Cáscara de la papa Natividad
Peso de la cáscara (g)	1930,70	1021,60
Peso del almidón seco (g)	48,12	39,23
Rendimiento	2,49 %	3,84 %

Se detalla que la cáscara de papa Natividad adquirió un rendimiento del 3,84 % del almidón, mientras que la cáscara de la papa Chola obtuvo un rendimiento del 2,49 %. Por otro lado, Guamán (2022), reportó un rendimiento del 2,70 % en el almidón de la papa Chola. De igual manera, Chulde (2020), menciona que el rendimiento global del almidón extraída de la cáscara de papa varía entre 1 a 2 %.

#### 4.2. Resultado de la concentración óptima de ácido acético-glicerol

Se detalla la cantidad utilizada de los plastificantes ácido acético-glicerol para la elaboración del plástico biodegradable como se evidencia en la siguiente tabla.

**Tabla 16**

*Cantidad utilizada de ácido acético-glicerol para la elaboración de plástico biodegradable*

Tratamiento	Descripción nivel	
	A	B
T1	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 2 mL + glicerol 2 mL
T2	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 5 mL + glicerol 4 mL
T3	Cáscaras de papa Chola	Ac. acético 8 mL + glicerol 6 mL
T4	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 2 mL + glicerol 2 mL
T5	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 5 mL + glicerol 4 mL
T6	Cáscaras de papa Natividad	Ac. acético 8 mL + glicerol 6 mL

Durante la elaboración del plástico biodegradable, se evidenció que el almidón de la cáscara de papa Natividad con la mezcla de 2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol, presentó mayor elasticidad, flexibilidad y en el proceso de secado las muestras no se cristalizaron a diferencia de los demás tratamientos, por otro lado, a mayor concentración de ácido acético-glicerol en el proceso de secado las muestras se cristalizan y se resquebrajaba con mayor facilidad, en tal sentido, se determinó que la mezcla óptima de ácido acético-glicerol fue de 2 mL con 5 mL de almidón de cáscara de papa Natividad dando como el mejor tratamiento al T4.

En la investigación por Avellán *et al.*, (2020), en el almidón de maíz emplearon 3 mL de ácido acético y 1,7 mL de glicerina obteniendo un alto nivel de degradación, estas combinaciones se asemejan a los utilizados en nuestra investigación, del mismo modo Cajahuaman & Huaranga (2020), utilizaron 3 mL de ácido acético y

5 mL de glicerina, donde mencionaron que con cantidades decrecientes de glicerol y ácido acético los valores de resistencia a la atracción aumentan, es que a bajas cantidades de glicerol la fuerza intermolecular entre las moléculas de almidón aumenta, lo que hace que el biopolímero seas más fuerte.

### **4.3. Resultados de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable**

#### **4.3.1. Espesor**

Los resultados adquiridos del espesor del plástico biodegradable, se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Resultados del espesor del plástico biodegradable en mm*

Tratamiento	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	Promedio (mm)
T1	0,47	0,50	0,51	0,49
T2	0,90	0,89	0,67	0,82
T3	0,90	0,81	0,71	0,81
T4	0,36	0,27	0,42	0,35
T5	0,52	0,60	0,72	0,61
T6	0,54	0,68	0,72	0,65

Se describe el espesor del plástico biodegradable de los 6 tratamientos planteados en nuestra investigación, así como sus respectivas repeticiones mismas que están expresados en mm, donde se evidencia que el tratamiento T4 adquirió un valor promedio de 0,35 mm de espesor a diferencia de los demás tratamientos.

La norma NTE INEN 2542, establece los requisitos que deben cumplir las láminas de plástico, misma que debe ser de 0,2 mm de espesor, en cuanto a nuestra investigación el tratamiento T4 adquirió un espesor de 0,35 mm, además, Guamán (2019), en el plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa obtuvo un espesor de 0,120 mm, estos resultados difieren con los de nuestra investigación, pudiendo atribuirse a que el espesor de las láminas del plástico biodegradable se debe a los porcentajes de ácido acético y glicerina utilizados para la elaboración de estos productos.

**Tabla 18**

*Análisis de varianza del espesor en el plástico biodegradable*

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedad cáscara	1	0,1301	0,1301	15,26	0,0021*
B: Combinación plastificante	2	0,3603	0,1802	21,14	0,0001**
Interacciones					
AB	2	0,0032	0,0016	0,19	0,0401*
Residuos	12	0,1023	0,0085		
Total	17	0,5959			

\*: Diferencia significativa, \*\*: diferencia altamente significativa

Mediante el análisis de varianza realizado al espesor del plástico biodegradable elaborado a base de almidón de cáscara de papas en estudio, se evidencia que existe diferencia significativa, tanto para el factor A (variedad de cáscara) y el factor B (combinación de plastificante), debido a que sus valores-p son menores que 0,05, en consecuencia, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el espesor del plástico biodegradable con un nivel de confiabilidad del 95,0 %.

Debido a la diferencia estadística presentada en los factores de estudio, se realizaron pruebas de rangos múltiples para establecer las medias diferentes.

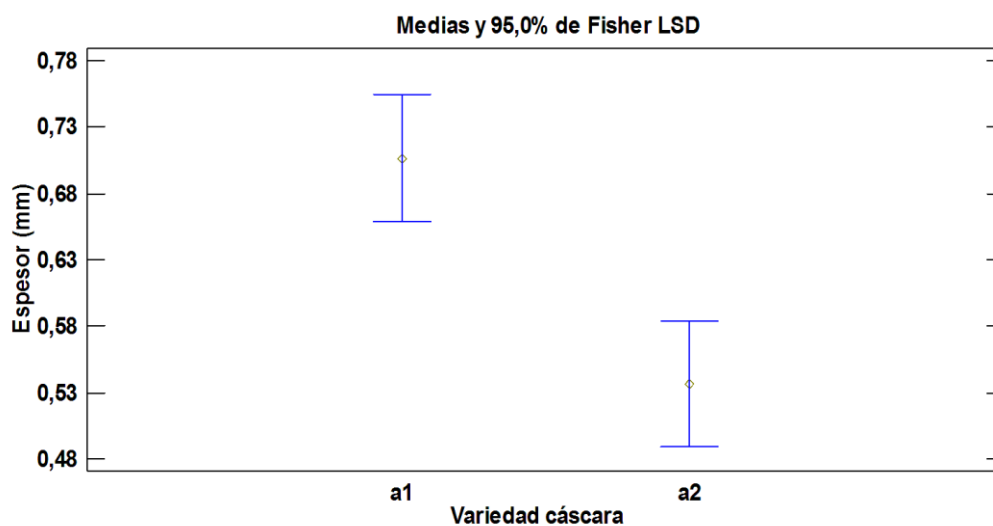
**Tabla 19**

*Pruebas de rangos múltiples para el factor A del espesor del plástico biodegradable*

Variedad cáscara	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a <sub>1</sub>	9	0,7067	0,0308	A
a <sub>2</sub>	9	0,5367	0,0308	B

**Figura 4**

*Medias del factor A del espesor del plástico biodegradable*



En la tabla se evidencia que los grupos homogéneos son diferentes, pero de acuerdo a la investigación realizada por Guamán (2019), establece que a menor espesor mayor es su resistencia, en tal sentido, se concluye que el nivel a<sub>2</sub> correspondiente al almidón de cáscara de papa Natividad resultó adquirir 0,53 mm de espesor.



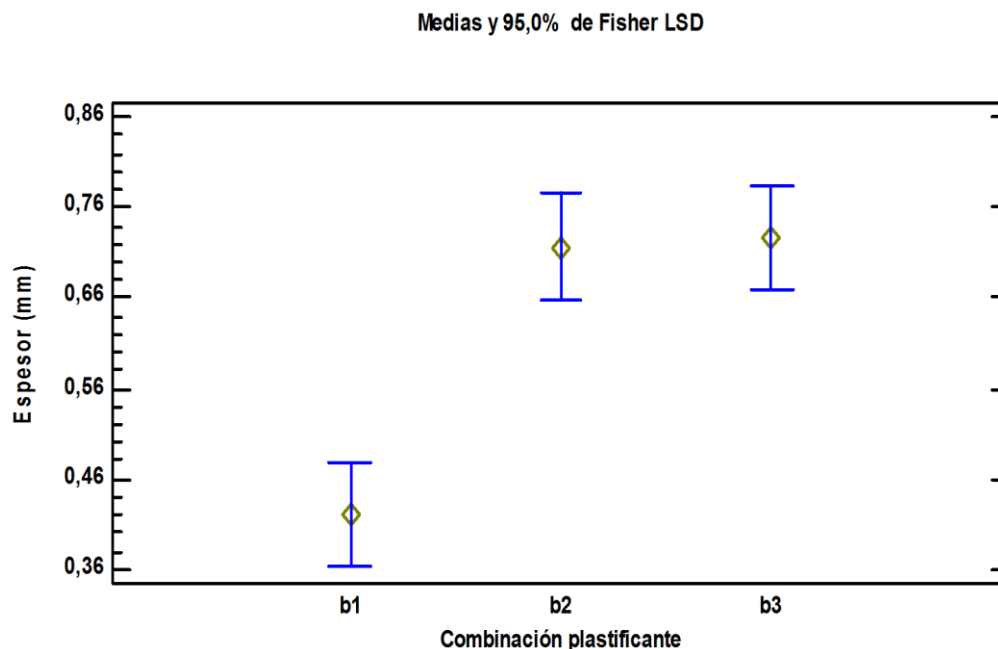
**Tabla 20**

*Pruebas de rangos múltiples para el factor B del espesor del plástico biodegradable*

Combinación plastificante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>3</sub>	6	0,7267	0,0377	A
b <sub>2</sub>	6	0,7167	0,0377	A
b <sub>1</sub>	6	0,4217	0,0377	B

**Figura 5**

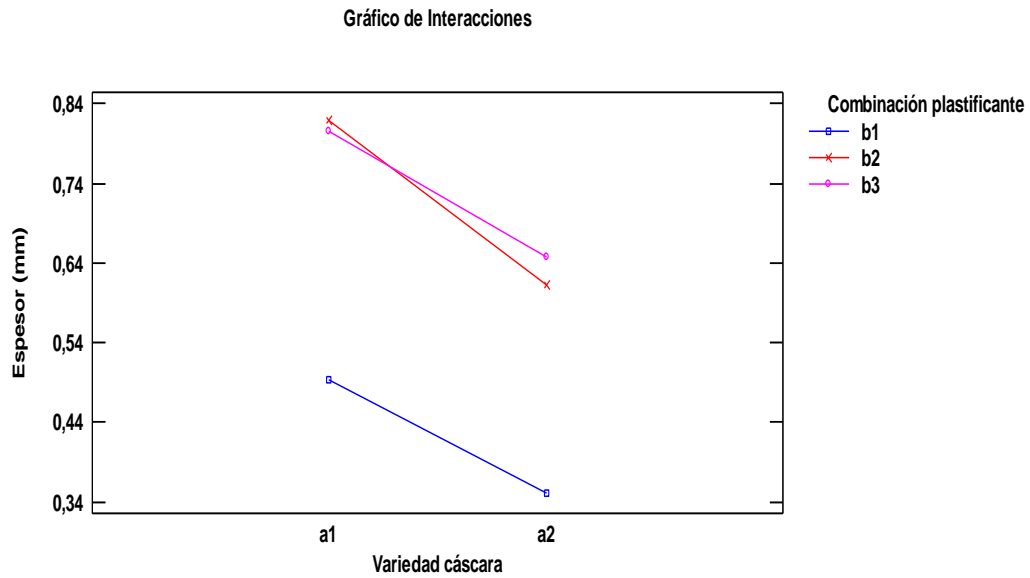
*Medias del factor B del espesor del plástico biodegradable*



En la tabla de pruebas de rangos múltiples, así como en la figura se muestran dos grupos homogéneos, siendo el nivel b<sub>1</sub> (2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol) la media más baja con respecto al espesor del plástico biodegradable, la norma NTE INEN 2542 determina que las láminas de plástico deben ser de 0,2 mm de espesor, en nuestra investigación los resultados fueron más altos de lo esperado, esto debido a que a los porcentajes de ácido acético y glicerina utilizados aumenta el espesor de las láminas del plástico biodegradable como menciona (Guamán, 2019).

**Figura 6**

*Interacción AB para el espesor del plástico biodegradable*



En la figura de interacciones se evidencia que en el extremo a<sub>2</sub> (cáscara de papa Natividad) y b<sub>1</sub> (2 mL ácido acético + 2 mL de glicerol), presentó menor espesor del plástico biodegradable lo que brinda mayor resistencia según las investigaciones. Además, Huacho *et al.*, (2020), mencionan que a mayor plastificante disminuyen las fuerzas intermoleculares de las cadenas de plástico. López (2022), manifiesta que la interacción de almidón con el plastificante proporciona al producto mayor maleabilidad y flexibilidad.

### 4.3.2. Fuerza de tensión

Se presentan los resultados de la fuerza de tensión del plástico biodegradable las mismas que están expresadas en N como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 21**

*Resultados de la fuerza de tensión del plástico biodegradable en N*

Tratamiento	R1 (N)	R2 (N)	R3 (N)	Promedio (N)
T1	25,69	20,59	27,46	24,58
T2	14,91	16,67	10,40	13,99
T3	2,16	2,94	4,71	3,27
T4	25,30	29,03	22,36	25,56
T5	10,79	11,57	10,00	10,79
T6	4,71	5,10	5,30	5,04

En la determinación de la fuerza de tensión aplicada a los 6 tratamientos, se observa que el T4 posee una fuerza de tensión de 25,56 N, misma que si comparamos con el espesor del plástico biodegradable, concluimos que a menor espesor mayor es su fuerza de tensión.

Guamán (2021), realizó un estudio donde muestra los valores de la fuerza de tensión de un bioplástico a base de papa, donde adquirió un punto de ruptura a 22,90 N, además, Camarillo (2023), realizó otro estudio de fuerza de tensión en el plástico biodegradable, donde fue de 21,19 N, al comparar con un plástico común la fuerza de tensión es de 48,26 N, en nuestro estudio la fuerza de tensión más alta fue del tratamiento T4 con 25,56 N, en síntesis el plástico biodegradable está por debajo de las cualidades de un plástico común.

**Tabla 22***Análisis de varianza de la fuerza de tensión en el plástico biodegradable*

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor- $\rho$
Efectos principales					
A: Variedad cáscara	1	0,1043	0,1043	0,02	0,8984 NS
B: Combinación plastificante	2	1332,49	666,244	108,72	0,0000 **
Interacciones					
AB	2	21,4519	10,7259	1,75	0,2153 NS
Residuos	12	73,5391	6,1283		
Total	17	1427,58			

NS: Diferencia estadística no significativa, \*\*: diferencia altamente significativa

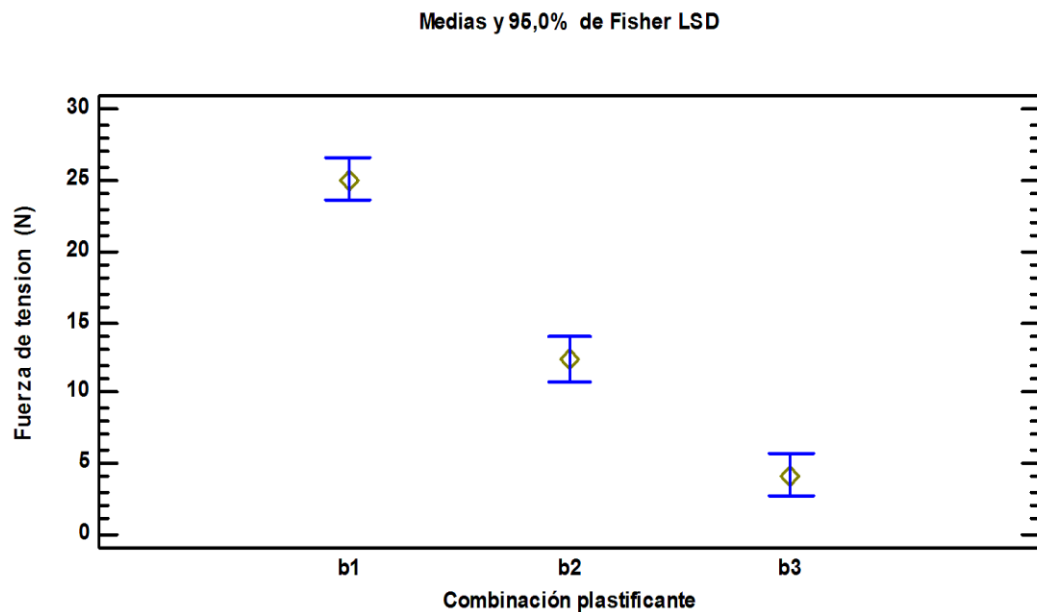
Mediante el análisis de varianza realizado a la fuerza de tensión del plástico biodegradable, se evidencia que solo el factor B (Combinación de plastificante) presenta diferencia significativa ya que su valor- $\rho$  es menor a 0,05, en tal sentido este factor incide en la fuerza de tensión del plástico biodegradable elaborado a base de almidón de papa con un 95,0 % de nivel de confianza.

**Tabla 23***Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la fuerza de tensión del plástico biodegradable*

Combinación plastificante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>1</sub>	6	25,0717	1,0106	A
b <sub>2</sub>	6	12,39	1,0106	B
b <sub>3</sub>	6	4,1533	1,0106	C

**Figura 7**

*Medias del factor B de la fuerza de tensión del plástico biodegradable*



En la tabla de pruebas de rangos múltiples, así como en la figura, la media más alta de fuerza de tensión corresponde al nivel b<sub>1</sub>, por lo tanto, la combinación óptima de ácido acético y glicerol es de 2 mL para la elaboración de un plástico biodegradable, misma que tras los análisis presentó mayor fuerza de tensión. De igual forma en el estudio realizado por Cajahuaman & Huaranga (2020), afirma que a bajas concentraciones de ácido acético y glicerina las láminas de plástico biodegradable presentan mayor fuerza de tensión, mientras que, las cantidades de estas dos sustancias van en aumento la fuerza de tensión se va debilitando.

### 4.3.3. Densidad

Los resultados de la densidad del plástico biodegradable, analizados a los 6 tratamientos se describen a continuación.

**Tabla 24**

*Resultados de la densidad del plástico biodegradable en g/mL*

Tratamiento	R1 (g/mL)	R2 (g/mL)	R3 (g/mL)	Promedio (g/mL)
T1	1,25	1,25	1,25	1,25
T2	1,00	1,00	1,26	1,09
T3	1,26	1,26	1,26	1,26
T4	1,67	1,68	1,67	1,67
T5	1,26	1,25	1,25	1,25
T6	1,25	1,26	1,26	1,26

Se detalla las densidades adquiridas de los diferentes tratamientos, donde el tratamiento T4 presentó un promedio de densidad de 1,67 g/mL valor más significativo en comparación con los demás tratamientos, misma que está elaborado con almidón de cáscara de papa Natividad con 2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol.

Ayquipa (2019), realizó una investigación del plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa, donde adquirió una densidad de 1,70 g/mL el cual está influenciado directamente con el espesor del bioplástico, así mismo Mera & Ibarra (2021), determinó la densidad del bioplástico donde el mejor tratamiento adquirió una densidad 1,32 g/mL, en comparación con nuestra investigación los resultados son similares, donde a menor espesor, mayor es su densidad, el cual está relacionado directamente con la interacción molecular de los componentes de los plastificantes utilizados.

**Tabla 25***Análisis de varianza de la densidad en el plástico biodegradable*

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedad cáscara	1	0,1721	0,1721	45,62	0,0000**
B: Combinación plastificante	2	0,2684	0,1342	35,58	0,0000**
Interacciones					
AB	2	0,1384	0,0692	18,35	0,0002**
Residuos	12	0,0453	0,0038		
Total	17	0,6242			

\*\* : Diferencia altamente significativo

Mediante el análisis de varianza realizado a la densidad del plástico biodegradable, se observa en la tabla que los dos factores en estudio, así como su respectiva interacción presentan diferencia estadística significancia, puesto que estos 3 valores- $\rho$  son menores que 0,05, por lo tanto, el factor A (variedad de cáscara) y el factor B (combinación de plastificante) influyen en la densidad del plástico biodegradable con una confiabilidad del 95,0 %.

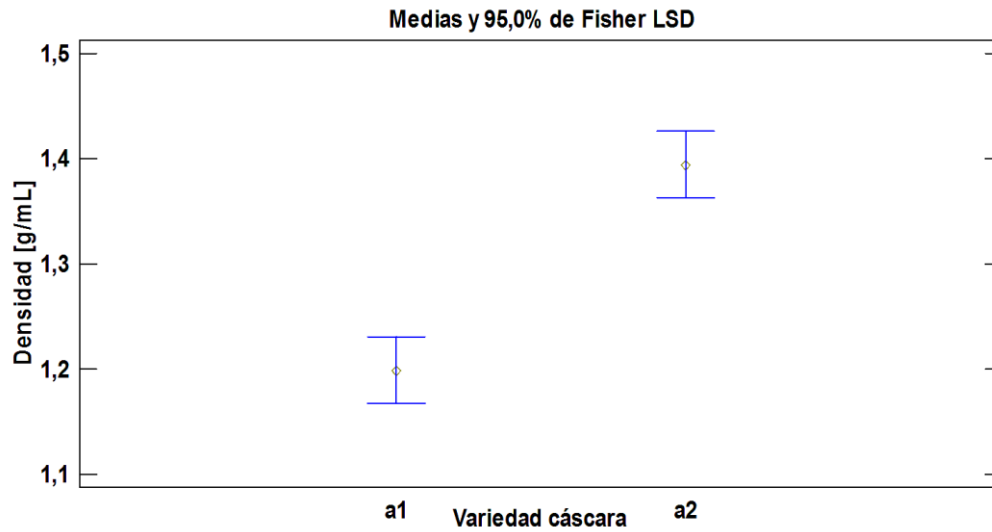
Para determinar las medias significativas se procedió a realizar pruebas de rangos múltiples por el método LSD.

**Tabla 26***Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la densidad del plástico biodegradable*

Variedad cáscara	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a <sub>2</sub>	9	1,3944	0,0205	A
a <sub>1</sub>	9	1,1989	0,0205	B

**Figura 8**

*Medias del factor A de la densidad del plástico biodegradable*



Como se puede observar en la tabla, los grupos homogéneos son diferentes donde la media de la densidad más alta corresponde al nivel a<sub>2</sub> con un resultado de 1,39 g/mL, de igual forma en la figura se detalla que el nivel a<sub>2</sub> no se superpone con el nivel a<sub>1</sub>, en consecuencia, el almidón de papa Natividad presenta mayor densidad, esto se le atribuye al espesor de la lámina de bioplástico. De igual forma Pozo & Lechón (2022), establece que está influenciado con el tamaño del gránulo del almidón.

**Tabla 27**

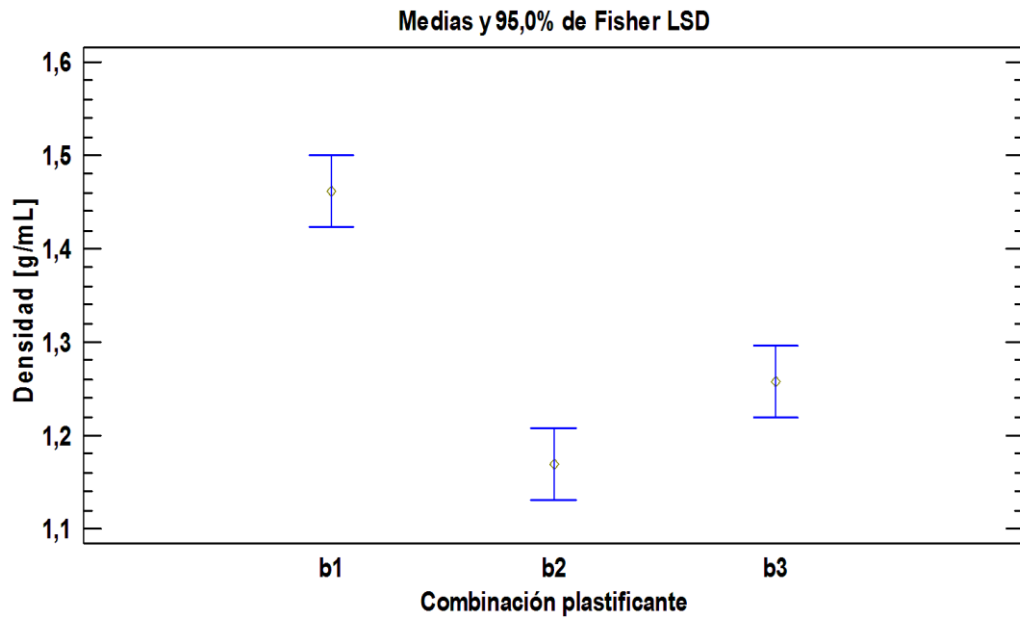
*Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la densidad del plástico biodegradable*

Combinación plastificante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>1</sub>	6	1,4617	0,0251	A
b <sub>3</sub>	6	1,2583	0,0251	B
b <sub>2</sub>	6	1,17	0,0251	C



**Figura 9**

*Medias del factor B de la densidad del plástico biodegradable*



En la tabla de pruebas de rangos múltiples se aprecia que los grupos del factor B son heterogéneos, donde el nivel b<sub>1</sub> tiene una media de densidad de 1,46 g/mL, resultado significativo con respecto a los demás niveles, además, mediante la figura se corrobora que el nivel b<sub>1</sub> no se superponen con los niveles b<sub>2</sub> y b<sub>3</sub>, en consecuencia, los niveles óptimos para la elaboración del producto son de 2 mL ácido acético y 2 mL glicerol dando como resultado mayor densidad del bioplástico. Mollinedo (2017), menciona que la glicerina al ser un plastificante natural aumenta la densidad del producto esto debido a que es un material muy viscoso. De igual forma Barahona *et al.*, (2019), informa que el plástico biodegradable posee propiedades mecánicas similares al de polietileno de baja densidad.

**Figura 10**

*Interacción AB para la densidad del plástico biodegradable*



En la figura de las interacciones se observa que el extremo del nivel  $a_2b_1$  presenta tener mayor densidad del plástico biodegradable, en consecuencia, el tratamiento T4 resultó ser uno de los mejores, misma que está elaborado con 5 mL de almidón de cáscara de papa Natividad con adición de 2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol. Montañez (2022), da a conocer que la densidad del plástico biodegradable es comparable con la densidad de los termoplásticos convencionales específicamente al de acetato de celulosa.

#### **4.3.4. Solubilidad**

A continuación, se detalla los resultados de la solubilidad en agua que tiene el plástico biodegradable de los diferentes tratamientos con sus respectivas repeticiones.

La solubilidad de un film se define como la tolerancia que presenta al agua o a otros solventes. Esta característica depende de su estructura química y la permeabilidad de estas propiedades (Ayquipa, 2019).

**Tabla 28***Resultados de la solubilidad del plástico biodegradable en %*

Tratamiento	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio (%)
T1	31,07	30,14	29,62	30,28
T2	49,46	51,59	46,85	49,30
T3	55,51	55,88	55,86	55,75
T4	35,48	35,00	34,29	34,92
T5	52,51	47,57	51,22	50,43
T6	56,47	55,96	60,02	57,48

Se evidencia los resultados de la solubilidad al agua que tiene el plástico biodegradable de los tratamientos que tienen 6 formulaciones diferentes, donde el tratamiento T6 tiene una solubilidad de 57,48 % siendo el resultado más representativo, mientras que solubilidad más baja presentó el tratamiento 1 con 30,28 %.

Garcia (2017), reportó la solubilidad de 5 tratamientos de plástico biodegradable misma que varían entre 14,48 % a 45,8 %, en comparación con los resultados adquiridos en nuestra investigación algunos tratamientos se encuentran en ese rango y otros superan a los resultados reportados por el autor. Por otro lado, la autora Ayquipa (2019), dio a conocer la solubilidad de un plástico biodegradable obtenida a partir de la cáscara de papa, donde los resultados van desde 49,97 % a 62,58 %, además mencionó que estos valores dependen a la formulación de plastificante utilizado, los componentes de la materia prima y la velocidad de agitación para la elaboración del producto. Los resultados adquiridos en la presente investigación se encuentran dentro de los reportados por los autores.

**Tabla 29***Análisis de varianza de la solubilidad en el plástico biodegradable*

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor- $\rho$
Efectos principales					
A: Variedad cáscara	1	3,4322	3,4322	0,08	0,7786 NS
B: Combinación plastificante	2	1320,15	660,074	15,91	0,0004 **
Interacciones					
AB	2	136,722	68,3609	1,65	0,2332 NS
Residuos	12	497,944	41,4954		
Total	17	1958,25			

NS: Diferencia estadística no significativa, \*\*: diferencia altamente significativa

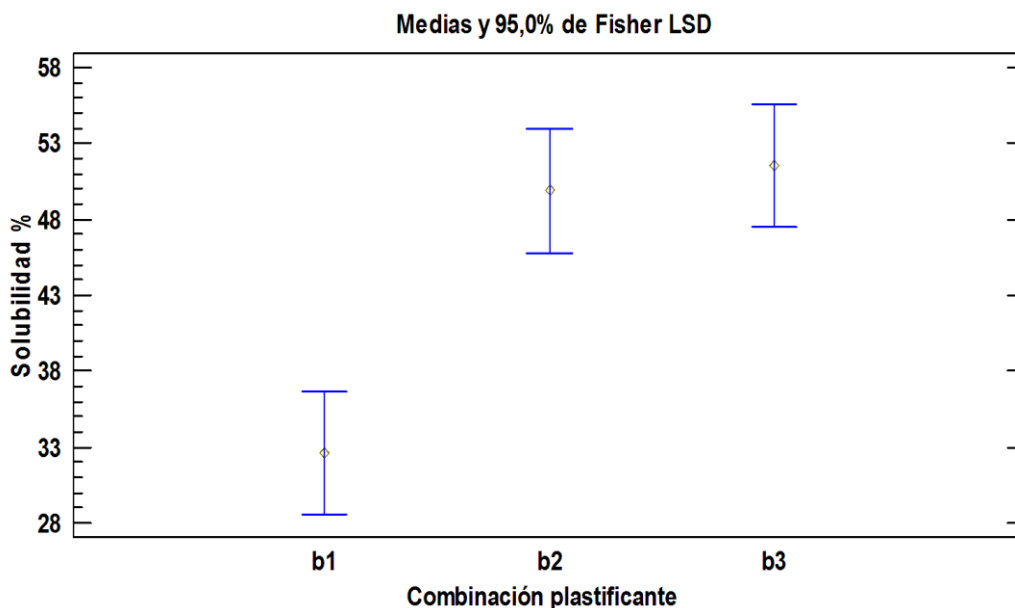
Mediante el análisis de varianza realizado a la solubilidad del plástico biodegradable elaborado a partir de dos variedades de cáscaras de papa y a diferentes concentraciones de plastificante, se evidencia que el factor A (variedades de cáscara) no presenta diferencia significativa, mientras que el factor B (combinación de plastificante) presenta una diferencia altamente significativa debido a que su valor- $\rho$  es menor que 0,05, es decir que este factor influye en la solubilidad del plástico biodegradable con un 95,0 % de confiabilidad.

**Tabla 30***Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la solubilidad del plástico biodegradable*

Combinación plastificante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>3</sub>	6	51,55	2,6298	A
b <sub>2</sub>	6	49,8667	2,6298	A
b <sub>1</sub>	6	32,6	2,6298	B

**Figura 11**

*Medias del factor B de la solubilidad del plástico biodegradable*



En la tabla anterior se detalla dos grupos homogéneos, dando como mejor resultado en porcentaje de solubilidad a los niveles b<sub>3</sub>, b<sub>2</sub> con 51,55 %, 49,86 %, de igual forma en la figura se observa que el nivel b<sub>1</sub> posee una solubilidad más baja con respecto a los demás niveles. En el trabajo realizado por Ichica (2021), determinó la solubilidad del plástico biodegradable misma que está influenciada por la proporción del glicerol utilizado, por consiguiente, los tratamientos que poseen mayor porcentaje de glicerol en nuestra investigación son los niveles b<sub>2</sub> con 4 mL y b<sub>3</sub> con 6 mL.

#### **4.3.5. Humedad**

En la siguiente tabla se presentan los resultados del porcentaje de humedad de las tres repeticiones realizadas a cada uno de los tratamientos del plástico biodegradable obtenida de las cáscaras de las papas Chola y Natividad.

**Tabla 31***Resultados de la humedad del plástico biodegradable en %*

Tratamiento	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio (%)
T1	11,93	11,65	16,55	13,38
T2	15,01	14,56	12,36	13,98
T3	15,52	16,16	16,31	16,00
T4	15,90	15,13	14,59	15,21
T5	17,02	17,83	18,44	17,76
T6	19,20	18,70	19,69	19,20

Se observan los resultados de porcentaje de humedad del plástico biodegradable de los diferentes tratamientos, donde el tratamiento T1 posee la humedad más baja con 13,38 % y el tratamiento T6 posee una humedad del 19,20 %, según García (2017), menciona que la cantidad de glicerol utilizado en la elaboración del bioplástico aumenta la humedad debido a sus características hidrofílicas que posee esta sustancia.

Morales (2022), realizó una investigación donde reportó una humedad del bioplástico adquiridas de almidón de papa que varían de 15,22 a 22,77 %, además Guamán (2019), en el plástico biodegradable obtenidas a partir de cáscara de papa reportó un porcentaje de humedad que varía de 20,16 a 22,75 %. Rosales (2016), menciona que el porcentaje máximo de humedad que debe tener un bioplástico es de 22 %, esto evita el posible crecimiento de hongos y levaduras el cual puede deteriorar al producto, comparando con nuestra investigación el resultado de humedad más alta es de 19,20 %, es decir que todos los tratamientos están por debajo de la humedad requerida según los autores.

**Tabla 32***Análisis de varianza de la humedad en el plástico biodegradable*

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Efectos principales					
A: Variedad cáscara	1	38,8668	38,8668	21,31	0,0006**
B: Combinación plastificante	2	32,7911	16,3955	8,99	0,0041**
Interacciones					
AB	2	3,0248	1,5124	0,83	0,4600 NS
Residuos	12	21,8898	1,8242		
Total	17	96,5725			

NS: Diferencia estadística no significativa, \*\*: diferencia altamente significativa

Mediante el análisis de varianza realizado a la humedad del plástico biodegradable, se evidencia la diferencia altamente significativa tanto en el factor A (variedad de cáscara) como en el factor B (combinación de plastificante) ya que sus valores-p son menores que 0,05, en tal sentido estos dos factores inciden en el porcentaje de humedad del plástico biodegradable con un nivel de confianza del 95,0 %.

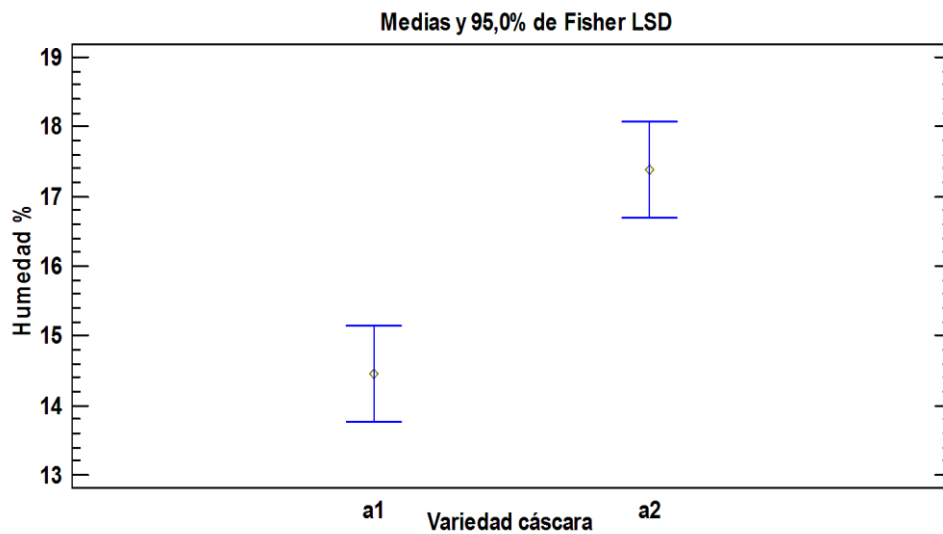
Para establecer las medias diferentes, se realizaron pruebas de rango múltiples por el método LSD tanto para el factor A como para el factor B.

**Tabla 33***Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la humedad del plástico biodegradable*

Variedad cáscara	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a <sub>2</sub>	9	17,3889	0,4502	A
a <sub>1</sub>	9	14,45	0,4502	B

**Figura 12**

*Medias del factor A de la humedad del plástico biodegradable*



En la tabla de pruebas de rangos múltiples para el factor A, así como en la figura de medias, el nivel a<sub>2</sub> posee una humedad del 17,38 %, determinando así que el almidón de la cáscara de papa Natividad influye en la humedad del plástico biodegradable. Quispe (2021), menciona que la humedad es una característica primordial del bioplástico esto depende del origen de la materia prima y de los aditivos utilizados en su elaboración, es un factor importante para la biodegradabilidad del producto.

**Tabla 34**

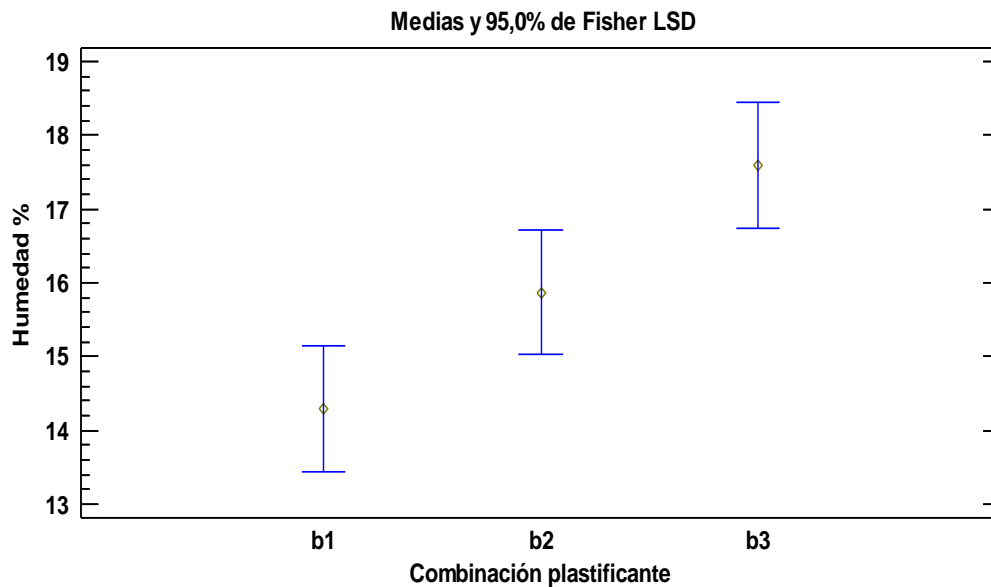
*Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la humedad del plástico biodegradable*

Combinación plastificante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>3</sub>	6	17,5967	0,5514	A
b <sub>2</sub>	6	15,87	0,5514	B
b <sub>1</sub>	6	14,2917	0,5514	B



**Figura 13**

*Medias del factor B de la humedad del plástico biodegradable*



De igual forma para el factor B en la tabla de pruebas de rangos múltiples, así como en la figura de medias, se observa que el nivel b<sub>3</sub> tiene una humedad del 17,59 %, esto se le atribuye a la cantidad del glicerol utilizado para la elaboración del plástico biodegradable. Rosales (2016), da a conocer que la humedad máxima de un plástico biodegradable debe ser del 22 %, esto para evitar el desarrollo de hongos y levaduras el cual deteriora el producto.

#### **4.3.6. Curva de secado del bioplástico biodegradable**

En la siguiente tabla se detalla el peso inicial del plástico biodegradable y el peso final que adquirió tras el secado a diferentes temperaturas, donde a una temperatura de 60 °C adquirió un peso constante tras las 12 h de secado, mientras que a 50 °C alcanzó un peso constante a 15 h de secado, finalmente a 40 °C alcanzó un peso constante a 18 h de secado.

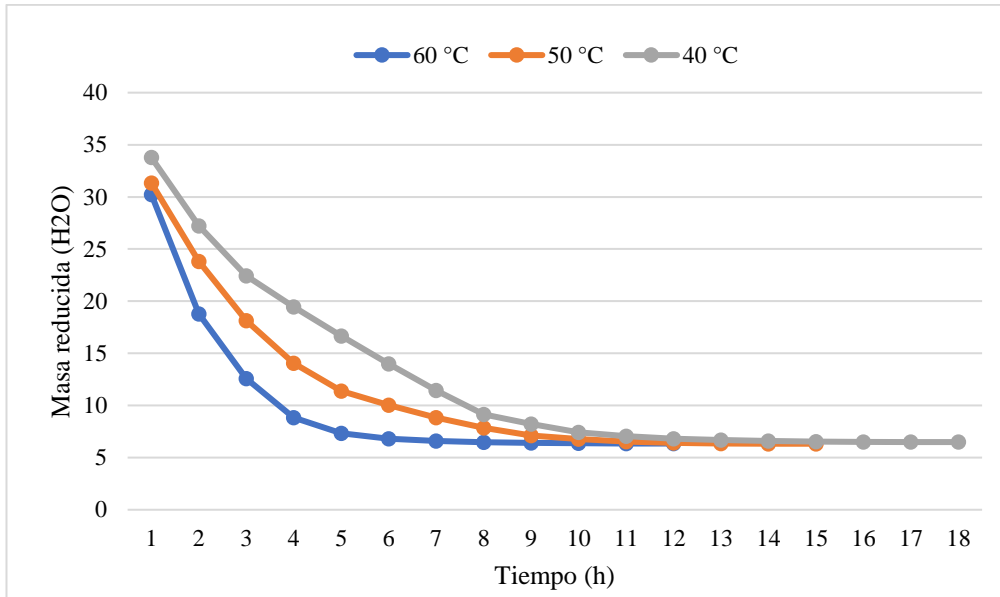
**Tabla 35***Variación de pérdida de peso del plástico biodegradable*

Tiempo (h)	Peso bioplástico (g)			Humedad relativa %		
	60 °C	50 °C	40 °C	60 °C	50 °C	40 °C
1	30,24	31,34	33,78	1,000	1,000	1,000
2	18,79	23,82	27,23	0,521	0,699	0,760
3	12,57	18,13	22,45	0,260	0,472	0,585
4	8,85	14,06	19,45	0,105	0,309	0,475
5	7,32	11,38	16,66	0,041	0,202	0,373
6	6,81	10,05	13,98	0,019	0,149	0,274
7	6,60	8,85	11,46	0,010	0,101	0,182
8	6,4	7,86	9,15	0,005	0,061	0,097
9	6,35	7,12	8,21	0,003	0,032	0,063
10	6,29	6,77	7,43	0,001	0,018	0,034
11	6,27	6,55	7,05	0,000	0,009	0,021
12	6,27	6,41	6,81	0,000	0,003	0,012
13		6,34	6,68		0,000	0,007
14		6,33	6,59		0,000	0,004
15		6,33	6,54		0,000	0,002
16			6,51			0,001
17			6,49			0,000
18			6,49			0,000

La tabla muestra cómo el peso del plástico biodegradable y la humedad relativa va decreciendo conforme pasa el tiempo hasta alcanzar un peso y humedad relativa constante, la humedad relativa es la humedad que está presente en el aire frente a la cantidad máxima que el aire puede contener a una temperatura determinada.

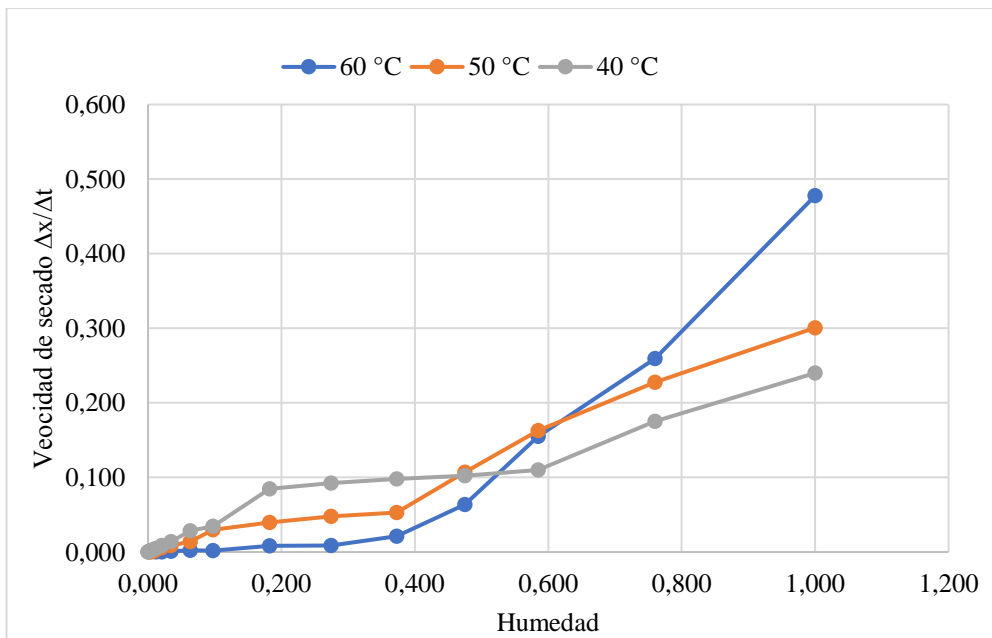
**Figura 14**

*Cinética de secado del plástico biodegradable*



**Figura 15**

*Velocidad de secado del plástico biodegradable*



Se observa el comportamiento de secado del plástico biodegradable conforme pasa el tiempo a temperaturas de 60, 50 y 40 °C, donde el tiempo de secado que alcanza el 0,0 % de humedad varía conforme la temperatura a la que fue secado las láminas de plástico biodegradable. En la figura de la velocidad de secado se observa una resistencia capilar al líquido que sale del producto sólido, esto debido a la poca porosidad que tienen las láminas de plástico biodegradable.

Se observó que la mejor temperatura de secado fue a 50 °C donde en 5 h de secado alcanzó una humedad de 20 %, esto según la autora Rosales (2016), determina que es una humedad ideal para evitar el deterioro de las láminas del plástico biodegradable por acción de hongos y levaduras, además, cuando las láminas de plástico alcanzaron una humedad del 0,0 % presentaron mejor flexibilidad, mayor resistencia y menor resquebrajamiento.

#### 4.3.7. Biodegradabilidad del bioplástico

Se detalla la biodegradabilidad del bioplástico en tierra mismas que fueron evaluadas en un intervalo de 5 días.

**Tabla 36**

*Biodegradabilidad del bioplástico en tierra*

T4	Peso inicial (g)	Día							%
		5	10	15	20	25	30	35	
R1	2,97	2,61	2,25	1,92	1,60	1,27	0,95	0,66	77,78
R2	2,22	1,95	1,71	1,47	1,24	1,01	0,82	0,63	71,61
R3	2,81	2,45	2,17	1,81	1,49	1,23	0,98	0,64	77,22

Se muestra el resultado de la degradación de la lámina de plástico biodegradable del Tratamiento T4, misma que está elaborado a base de cáscara de papa Natividad con 2 mL ácido acético + 2 mL de glicerol, la degradación fue evaluada durante 35 días tomando el peso de la muestra cada 5 días, los donde las tres repeticiones del tratamiento T4 adquirió un promedio de degradabilidad del 75,54%. Estos resultados fueron comparados con los estudios de Sernaqué *et al.*, (2020), donde realizaron la biodegradabilidad del bioplástico de las cáscaras de plátano y mango con adición de glicerina encontrándose con una degradabilidad del 73,6 % en 20 días, también determinó que a mayor concentración de glicerina mayor es su degradabilidad. Así mismo Mesa, (2016), adquirió una degradabilidad del 64,21 % en 92 días en el bioplástico a partir de residuos de una peladora de papa.

#### 4.4. Resultados de costo de producción a nivel de laboratorio

##### 4.4.1. Costo de producción

Para establecer el costo de producción, se realizó en primera instancia el costo de la elaboración del plástico biodegradable, tomando en consideración todos los insumos utilizados en el proceso para la obtención del producto final.

**Tabla 37**

*Costo beneficio*

Costo de la elaboración del plástico biodegradable					
Insumos	Cantidad	Precio/ unitario \$	Unidades utilizadas	Precio \$	25 % de utilidad
Cáscara de papa Chola	1930,70	0,10	5 g	0,10	
Cáscara papa Natividad	1021,60	0,10	5 g	0,10	PVP= Costo de venta/1- % utilidad
Ac. Acético	4 L	70	2 mL	0,035	
Glicerol	1 L	60,81	2 mL	0,12	
Costo total de producción				0,35	0,47

$$PVP = \frac{\text{Costo de producción}}{1 - \% \text{ utilidad}}$$

$$PVP = \frac{0,35}{1 - 25\%}$$

$PVP = 0,47$  ctvs de 5 g de plástico biodegradable

$$\text{Costo beneficio} = \frac{0,47}{0,35}$$

Costo beneficio = 1,34 \$

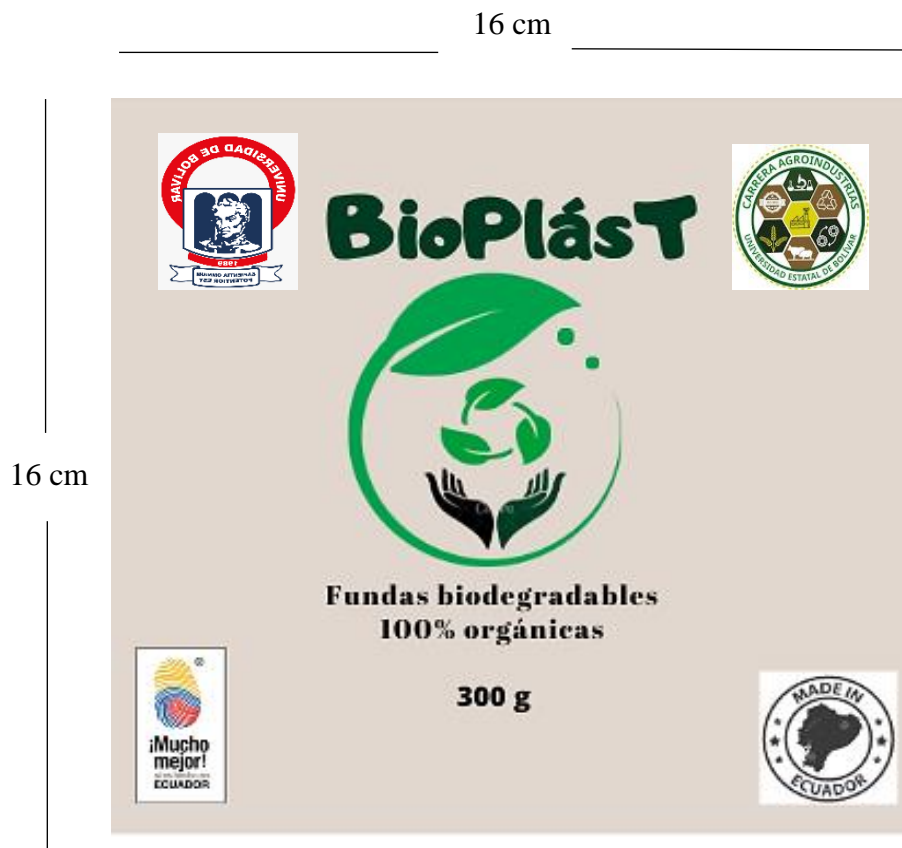
Para la elaboración de 5 g de plástico biodegradable a base de almidón de cáscara de papa Natividad con 2 mL de ácido acético + 2 mL de glicerol será de 0,35 ctvs y con la utilidad del 25 %, el precio de comercialización será de 0,47 ctvs, valor accesible para la venta a industrias que elaboran fundas de plásticos biodegradables, aplicando la relación costo beneficio se obtiene un resultado de 1,34 \$, en tal sentido por cada dólar invertido en la elaboración del plástico biodegradable se obtendrá un beneficio de 0,34 ctvs.

#### 4.4.2. Empaque comercial

El empaque comercial del plástico biodegradable será como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 16**

*Empaque comercial*



#### **4.5. Comprobación de hipótesis**

##### **4.5.1. Hipótesis nula (Ho)**

El plástico biodegradable elaborado a partir del almidón de la cáscara de papas (*Solanum tuberosum*) no presenta propiedades físico-mecánicas similares a las normativas del plástico común.

$$H_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = \dots T_n$$

##### **4.5.2. Hipótesis alternativa (Hi)**

El plástico biodegradable elaborado a partir del almidón de la cáscara de papas (*Solanum tuberosum*) presenta propiedades físico-mecánicas similares a las normativas del plástico común.

$$H_i = T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq \dots T_n$$



### 4.5.3. Verificación de hipótesis

**Tabla 38**

*Comparación de F calculada con F de tablas para las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable*

<b>Propiedades</b>	<b>Factores</b>	<b>F Calculado</b>	<b>F Tablas</b>
Espesor	A	15,26	2,394
	B	21,14	2,394
Fuerza de tensión	A	0,02	2,394
	B	108,72	2,394
Densidad	A	45,62	2,394
	B	35,58	2,394
Solubilidad	A	0,08	2,394
	B	15,91	2,394
Humedad	A	21,31	2,394
	B	8,99	2,394

Con los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza y realizando una comparación de F calculada con F de tablas, se observa que existe una diferencia significativa en las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de papa, en tal sentido existe evidencia suficientemente significativa para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna con un nivel de confianza del 95,0% de acuerdo a la siguiente expresión.

$$H_i = T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq \dots T_n$$

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES

- La materia prima está dentro del rango de los valores esperados en cada parámetro analizado que lo convierte en idóneos para el estudio realizado en relación al porcentaje de humedad la cáscara de la papa Natividad es la más húmedo y en los porcentajes obtenidos de ceniza no existe una variación entre las dos variedades, mientras que el mayor porcentaje de la fibra y grasa contiene la papa Chola.
- En el análisis de la capacidad de absorción de agua realizado al almidón de la cáscara de papa Chola y Natividad, se observó que a medida que se aumenta la temperatura el índice de absorción va en aumento, mientras que en la transparencia el almidón de la cáscara de papa Chola fue ligeramente más claro.
- Para la elaboración del plástico biodegradable la mejor concentración de ácido acético-glicerol fue de 2 mL en 5 g de almidón de cáscara de papa Natividad, dicho tratamiento presentó mayor resistencia y menos espesor, además, al momento del secado no se resquebrajaba.
- Se realizó los análisis físico-mecánicos de los 6 tratamientos del plástico biodegradable, donde el tratamiento T4 resultó tener un menor espesor el cual brinda mayor fuerza de tensión y mayor en densidad, mientras que el T6 presentó mayor solubilidad al agua y en la humedad todos los tratamientos no superaron el 20 % el cual concuerda con las investigaciones realizadas por otros autores, la biodegradabilidad del plástico fue del 75,54 % en 35 días.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar trabajos investigativos con otros residuos agroindustriales de origen vegetal procedentes de distintas fábricas del cantón Guaranda y de la parroquia Salinas.
- Luego del secado del almidón se recomienda pulverizar para obtener el mismo tamaño de partículas y así evitar la formación de gránulos al momento de elaborar el bioplástico.
- Mejorar la transparencia del bioplástico mediante procesos químicos como la desoxidación con cloro activo, hipoclorito de sodio, grupos carbonilo.
- Como factor de estudio incluir la temperatura en el proceso de la obtención del bioplástico
- Como tema de investigación realizar biopolímeros comestibles.
- Realizar pruebas de biodegradabilidad utilizando microorganismos aerobios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alulema, W. (2022). Producción de polihidroxicarboxilatos (phas) en un medio con harina de yuca como fuente de carbono utilizando la bacteria *Ralstonia eutropha*, para un bio-plástico en el laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar. *Tesis pregrado*. Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda. Obtenido de <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/4140>
- Alvarado, J. (2021). Obtención de harina a base de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) sazonada. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional del Ecuador, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVARADO%20YEPES%20JOSELYNE%20ANABELL.pdf>
- Anderson, R., Conway, H., Pfeiffer, U., & Griffin, R. (1970). Gelatinization of corn grits by rolo and extrusion cooking. *Cereal Sci.*
- Araque, L. (2019). Evaluación del rendimiento y calidad nutricional del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), var. súper Chola, bajo aplicaciones de biol mejorado, comunidad San Luis de Agualongo, parroquia San Juan de Ilumán, cantón Otavalo. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9864/3/03%20AGP%20251%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Arguello, A., & 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*). *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14994>
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., & Zamora, Y. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays L.*). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1). Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/215/215974004/index.html>

- Ayquipa, E. (2019). Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (*opuntia spp*) y almidón de cáscara de papa (*solanum tuberosum*). *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay. Obtenido de <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/617>
- Barahona, N., Tixi, H., Calderón, S., & Barahona, L. (2019). Biopolímeros capaces de reemplazar a los plásticos tradicionales. *Ciencia digital*, 3(4), 138-155. doi:<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.954>
- Basantes, F., Aragón, J., & Albuja, M. (2022). *Cultivos Andinos de importancia agro productiva y comercial en la Zona 1 del Ecuador*. Ibarra: UTN. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12828>
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348-356. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Bello, L., Agama, E., Sánchez, L., & Paredes, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *J Agric Food Chem*, 47(3). doi:<https://doi.org/10.1021/jf980828t>
- Cajahuaman, M., & Huaranga, L. (2020). Evaluación de la resistencia tensil de un plástico biodegradable obtenido a partir de almidón de papa (*Solanum Tuberosum*). *Tesis pregrado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6327/T010\\_70395047\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6327/T010_70395047_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Calderón, A., & Castillo, G. (2022). Elaboración de bolsas de plástico biodegradable a base del almidón de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad superChola, espam mfl. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta. Obtenido de [https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1905/1/TIC\\_IA26D.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1905/1/TIC_IA26D.pdf)

- Camarillo, D. (2023). Diseño de un empaque funcional a partir de bagazo de uva adicionado con nanopartículas de plata. *Tesis pregrado*. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/7836/1/FQMAC-300283-0323-323-Daniela%20Estefania%20Camarillo%20Gomez.pdf>
- Cárdenas, L. (2021). Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de papa chaucha (*Solanum phureja*) para el uso en alimentos. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16741/1/96T00668.pdf>
- Chen, W., Zhou, H., Yang, H., & Cui, M. (2015). Effect of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 180-184. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.089>
- Chicaiza, R. (2019). Desarrollo de un material compuesto con base en los polímeros polidimetilsiloxano y politetrafluoruro de etileno para su uso en recubrimientos de prótesis humanas. *Tesis pregrado*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15618>
- Chulde, M. (2020). Elaboración de una película plástica biodegradable a partir de almidón extraído de residuos de dos diferentes variedades de papas industrializadas. *Tesis pregrado*. Universidad de las Américas, Quito. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12058/1/UDLA-EC-TIAM-2020-11.pdf>
- Cóndor, B. (2018). Identificación de papas producidas y cultivadas en la provincia de Tungurahua sus características y sugerencias de usos en la cocina diaria. *Tesis pregrado*. Universidad San Francisco de Quito, Quito. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7756>
- Contreras, R. (2021). Desarrollo de una película a partir de aceite de camote morado como potencial alternativa en el desarrollo de biopelículas para recubrimiento de alimentos. *Tesis pregrado*. Universidad Michuacana de San

Nicolás de Hidalgo, Morelia. Obtenido de [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/6401/FQFB-M-2021-0349.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6401/FQFB-M-2021-0349.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Corozo, L., Macías, F., Vásquez, B., Pinargote, B., Cobeña, G., Mendoza, A., & Arteaga, F. (2020). Micropropagación de dos variedades ecuatorianas de yuca (*Manihot esculenta* CRANTZ). *4 Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 36(3), 224-232. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5590>

Cortina, A. (2020). Propiedades fisicoquímicas del mucílago de nopal. *Tesis pregrado*. Universidad Veracruzana, Xalapa. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50800/EstebanCortinaAlejandro.pdf?sequence=1>

Criollo, J. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de almidón de banano. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica de Ambato, Machala. Obtenido de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14105/1/T-2894\\_CRIOLLO%20FEIJOO%20JULIANA%20LISBETH.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14105/1/T-2894_CRIOLLO%20FEIJOO%20JULIANA%20LISBETH.pdf)

Cuenca, P. (2020). Desarrollo de recubrimiento activo basado en almidón/ acetato de almidón para preservar la calidad de alimentos regionales. *Tesis doctoral*. Universidad Nacional de Misiones, Posadas. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12219/2579>

Espín, M. (2021). *Valoración de la cáscara de musa paradisiaca (plátano) residual, para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos*.

Fernández, M., Albaladejo, M., Álava, S., & Pérez, O. (2021). 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*, 21(6), 340-348. Obtenido de

[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1134-80462020000600004](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-80462020000600004)

Gaibor, F. (2020). Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo por el cultivo de papa. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional del Ecuador, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22835>

García, I. (2017). Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional de Ucayali, Peru. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3626>

Gómez, M. (28 de Noviembre de 2020). *Melamina que es, ventajas y ejemplos*. Obtenido de 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)

Gualoto, M. (2019). Evaluación de resistencia de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) a rhizoctoniasis (*Rhizoctonia* sp.) y pie negro (*Pectobacterium* spp.). *Tesis pregrado*. Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19847>

Guamán, E. (2021). Obtención de una biopelícula a partir de la Papa SuperChola (*Solanum tuberosum* L.) y pericarpio de Maracuyá (*Passiflora edulis*) para el embalaje de alimentos. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17711>

Guamán, G. (2022). Obtención de una biopelícula a partir de dos variedades de cáscara de papa SuperChola y Friepapa-99 (*Solanum tuberosum*) para el embalaje de alimentos. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16910>

Guamán, J. (2019). Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras de papa para su aplicación industrial. *Tesis pregrado*. Escuela



- Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>
- Herrera, M., & Tubay, H. (2021). Elaboración de masa de pizza sin gluten con sustituto de papa cocida. *Tesis pregrado*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54327>
- Huacho, I., Rodríguez, A., & Brito, H. (2020). Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot Esculenta Crantz). *Ciencias Naturales*, 7(1), 216-232. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1701>
- Ichica, J. (2021). Obtención de plástico biodegradable a partir del almidón de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) para envoltura de alimentos. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16748/1/96T00675.pdf>
- INEC. (2018). *Según la última estadística de información ambiental: Cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día*. Quito.
- INEC. (2020). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. Quito.
- INIAP. (2017). *Inventario de tecnologías e información para el cultivo de papa en Ecuador*. Quito.
- Isique, M., & Sing, J. (2017). Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3053/47038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jaso, M. (2020). El surgimiento de los bioplásticos: Un estudio de nichos tecnológicos. *Acta universitaria*, 30, 1-24. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2020.2654>
- Juliño, M., Ocaña, F., & Concha, J. (2021). Contaminación ambiental y su influencia en la salud. *Nacional científica estudiantil*, 2(1), 75-90. doi:<https://doi.org/10.46498/renacipb.v2i1.1566>

- Kolawole, F., Akinwande, B., & Ade-Omowaye, B. (2020). Physicochemical properties of novel cookies produced from orange-fleshed sweet potato cookies enriched with sclerotium of edible mushroom (*Pleurotus tuberregium*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2), 174-178. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.001>
- López, A. (2021). Evaluación de la aplicación foliar de mf kabor en tres frecuencias y dos dosis en el rendimiento de un cultivar de papa (*Solanum tuberosum*) en el cantón Mocha. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica de Ambato, Cevallos. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33480/1/Tesis-285%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20L%C3%B3pez%20Yumiguan%C3%B3%20Alberto%20Dami%C3%A1n.pdf>
- López, L. (2022). Valoración del almidón de la cáscara de arracacia *Xanthorrhiza* (*Zanaharia blanca*) para la obtención de plástico biodegradable. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/361860371\\_ESCUELA\\_SUPERIOR\\_POLITECNICA\\_DE\\_CHIMBORAZO\\_FACULTAD\\_DE\\_CIENCIAS\\_CARRERA\\_INGENIERIA\\_AMBIENTAL\\_VALORACION\\_DEL\\_ALMIDON\\_DE\\_LA\\_CASCARA\\_DE\\_ARRACACIA\\_XANTHORRHIZA\\_ZANAHORIA\\_BLANCA\\_PARA\\_LA\\_OBTENCION\\_DE\\_PLASTI](https://www.researchgate.net/publication/361860371_ESCUELA_SUPERIOR_POLITECNICA_DE_CHIMBORAZO_FACULTAD_DE_CIENCIAS_CARRERA_INGENIERIA_AMBIENTAL_VALORACION_DEL_ALMIDON_DE_LA_CASCARA_DE_ARRACACIA_XANTHORRHIZA_ZANAHORIA_BLANCA_PARA_LA_OBTENCION_DE_PLASTI)
- Mafla, H. (2019). Formas de Obtención de semilla de papa super Chola en el sector de la Purificación, Cantón Huaca. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica de Babahoyo, Carchi. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7189>
- Maps. (2023).
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas

(*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301  
. Obtenido de <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Mbougoung, P., Tenin, D., Scher, J., & Tchiegang, C. (2012). Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 320–326. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.006>

Menoscal, R., & Rodríguez, E. (2017). Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Calceta. Obtenido de <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>

Mera, Y., & Ibarra, M. (2021). Diseño de una línea de procesamiento de envases biodegradables a partir de subproductos del maíz (*Zea mays*). *Tesis pregrado*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6548/1/T-UTEQ-112.pdf>

Mesa, P. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Agraria la molina, Lima. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2016>

Molina, M. (2022). Determinación de las propiedades físico-químicas y tasa de digestión in vitro del almidón crudo y gelatinizado de ocho genotipos y tres variedades de papa de la estación experimental Santa Catalina del INIAP-Quito. *Tesis pregrado*. Universidad Politécnica Salesiana Sede el Girón, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23078/1/TTQ838.pdf>

Mollinedo, E. (2017). Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de maíz; evaluando su degradabilidad con ácido sulfúrico y su expansión polimérica al variar la formulación. *Tesis pregrado*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/129372710>

- Monar, C., & Silva, D. (2018). Efecto del proceso de selección positiva sobre la calidad de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L) en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, Ecuador. *Talentos*, 503-509. Obtenido de <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/112>
- Montañez, M. (2022). Producción de bioplástico a partir de almidón de semillas de aguacate (*Persea spp.*) reforzado con material lignocelulósico. *Tesis posgrado*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Molina. Obtenido de [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/6684/FIQ-M-2022-0226.pdf?sequence=1](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6684/FIQ-M-2022-0226.pdf?sequence=1)
- Morales, J. (2022). Obtención de bioplástico a partir de papa Chola (*Solanum tuberosum*) y zanahoria blanca (*arracacia xanthorrhiza*) para uso como envolturas farmacéuticas. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17373/1/56T01077.pdf>
- Morocho, M. (2021). “Obtención de bioplástico a partir del trigo (*Triticum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) para uso como envolturas biodegradables de alimentos”. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16840/1/96T00739.pdf>
- Naranjo, E., Moyano, J., Zamora, Y., & Balseca, O. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 6(5), 864-878. Obtenido de <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Natividad, Á., Muñoz, S., Villanueva, J., Rojas, R., & Chamorro, R. (2022). Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en huánuco. *Rev Soc Quím Perú.*, 88(3), 237-250. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v88n3/1810-634X-rsqp-88-03-237.pdf>

- Novillo, C. (07 de Mayo de 2016). *Magap impulsa cultivo de papa en Cañar*.  
Obtenido de <https://www.elespectadorazogues.com/?p=5205>
- NTE INEN 2542. (2010). *Laminas plásticas*. Requisitos. Quito.
- NTE INEN 2637. (2012). *Ensayo de tracción para determinar el punto final de la degradación de polietileno y polipropileno degradable*. Quito.
- NTE INEN 2644. (2013). *Guía para la exposición y ensayo de plásticos que se degradan en el ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación*. Quito.
- Ortega, M., & Mejía, G. (2022). “Elaboración de un biopolímero a partir de lactosuero y almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para la encapsulación de detergente líquido, en el cantón Guaranda provincia Bolívar”. *Tesis pregrado*. Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda. Obtenido de [https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4245/1/Tesis\\_Biopol%C3%ADmeros\\_Ortega%26Mej%C3%ADa.pdf](https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4245/1/Tesis_Biopol%C3%ADmeros_Ortega%26Mej%C3%ADa.pdf)
- Paredes, R. (2020). *Propuesta de elaboración de bioplástico en base almidón de yuca para vasos descartables*. *Tesis pregrado*. Universidad Continental, Arequipa. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12438/2/IV\\_FIN\\_108\\_TI\\_Paredes\\_Vega\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12438/2/IV_FIN_108_TI_Paredes_Vega_2020.pdf)
- Peña, E. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno)*. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Agraria del Ecuador, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2655>
- Pérez, R. (2019). *Estudio de la cinética de absorción de agua en espumas de polipropileno reforzadas con nanoarcillas de paligorskita*. *Tesis doctoral*. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C, Mérida. Obtenido de [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1629/1/PCM\\_D\\_Tesis\\_2019\\_P%C3%A9rez\\_Mat%C3%BA\\_Rub%C3%A9n\\_Rangel.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1629/1/PCM_D_Tesis_2019_P%C3%A9rez_Mat%C3%BA_Rub%C3%A9n_Rangel.pdf)

- Pilay, K. (2022). Estudio comparativo de bioplásticos sintetizados a partir de productos renovables como una alternativa ecológica para reducción del impacto ambiental. *Tesis pregrado*. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PILAY%20SAN%20MARTIN%20KENNET%20EDUARDO.pdf>
- Pozo, F., & Lechón, B. (2022). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de papa superChola y su utilización en la formulación de salchicha tipo frankfurt. *Sathirí Sembrador*, 161-176. doi:<https://doi.org/10.32645/13906925.1137>
- Quispe, A. (2021). Obtención de plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15255/1/112T0272.pdf>
- Riera, M. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1), 1-11. doi:<https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Romero, N. (2021). Elaboración de dos harinas a partir de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y papa (*Solanum tuberosum* L.) en la formulación de un alimento balanceado para porcinos en etapa de crecimiento. *Tesis pregrado*. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ROMERO%20NARANJO%20NICOLE%20FERNANDA.pdf>
- 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, Mayo –Abril 2016. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,

- Managua, Managua. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>
- Ruíz, C. (2022). Obtención de bioplástico a partir de la extracción de almidón de los residuos de papa capiro. *Tesis pregrado*. Fundación Universidad de América, Bogotá. Obtenido de <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/9059>
- Ruíz, F. (2022). Incidencia de los residuos de papa capira *Solanum tuberosum* y plátano barraganete *Musa paradisiaca* en el proceso y calidad del balanceado peletizado para cerdos en la etapa de engorde. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13018/2/03%20EIA%20562%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Sánchez, D. (2017). What's the difference between «espesor» and «grosor» in Spanish? doi:<https://www.quora.com/Whats-the-difference-between-espesor-and-grosor-in-Spanish>
- Santillán, M. (2022). Análisis de papa super Chola (*Solanum tuberosum* L) para formulación de harina aromatizada con Chillangua y su aplicación en pastas artesanales cortas y largas. *Tesis pregrado*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/61707/1/BINGQ-GS-22P42.pdf>
- Sernaqué, F., Huamán, L., Pecho, H., & Chacón, M. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola*, 22-31. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-22.pdf>
- Solano, E. (2018). Evaluación de cuatro densidades de siembra de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad superChola, categoría básica, para la producción de semilla registrada, en el cantón Bolívar, Carchi. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8020>

- Solano, L., Beltrán, L., & Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológica*, 30-42.
- Torres, E. (2021). Elaboración de bioplásticos a partir del almidón de la cáscara de la papa (*Solanum tuberosum*) y la cáscara de la papaya hawaina (*Carica papaya* L.) como alternativa para uso de envolturas biodegradables de alimentos. *Tesis pregrado*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14978>
- Vega, N. (2020). Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados. *Tesis pregrado*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b32ae569-dc20-4ad0-be27-69deb2286b94/content>
- Vélez, C., Zambrano, X., Delgado, M., Burgos, G., & Cedeño, C. (2021). Almidones de Cáscara de Yuca (*Manihot Esculenta*) y Papa (*Solanum Tuberosum*) para Producción de Bioplásticos: Propiedades Mecánicas y Efecto Gelatinizante. *Bases de la ciencia*, 6(2), 137-152. doi:[https://doi.org/10.33936/rev\\_bas\\_de\\_la\\_ciencia.v6i2.3293](https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.3293)
- Vizcaíno, F. (2017). Evaluación de tres tipos de sustratos en la producción de semilla básica de papa variedad súper Chola (*Solanum tuberosum* L), bajo condiciones de invernadero. *Tesis regrado*. Universidad Técnica de Babahoyo, Espejo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3214/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000071.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, S., & Copeland, L. (2013). Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & Fuction*. doi:<https://doi.org/10.1039/C3FO60258C>



Zarabia, L. (2020). Evaluación de inductores de brotación en tipos de almacenaje de semilla de papa INIAP-suprema. *Tesis pregrado*. Universidad Técnica de Ambato, Cevallos. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31193/1/Tesis-242%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20647%20Soraya%20Zarabia.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Mapa de ubicación de la investigación*



*Fuente:* (Google Maps, 2022)


## Anexo 2

### Caracterización de la cáscara de la papa Chola y Natividad

Materias primas	Parámetro	Unidad	Método	Resultados %
Cáscara de papa Natividad	Humedad	%	AOAC 925.10	82,29
				82,82
				82,30
Cáscara de papa Chola				80,94
				80,94
				80,50
Cáscara de papa Natividad	Cenizas	%	AOAC 923.03	1,51
				1,51
				1,52
Cáscara de papa Chola				1,38
				1,38
				1,39
Cáscara de papa Natividad	Fibra	%	WEENDE	2,58
				2,58
				2,58
Cáscara de papa Chola				3,94
				3,94
				3,94
Cáscara de papa Natividad	Grasa	%	AOAC 2003.06	0,02
				0,02
				0,02
Cáscara de papa Chola				0,10
				0,10
				0,11

### Anexo 3

#### Análisis del almidón de la cáscara de papa Chola y Natividad

 <b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacoto, II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	IR-AC
		<b>Versión</b>	1
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 2

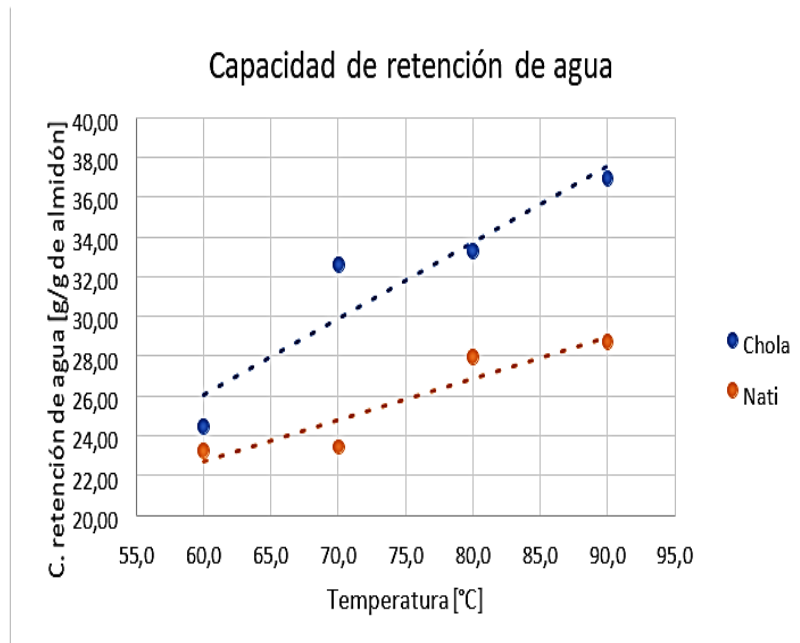
#### INFORME N° 073

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	María Naranjo – Jefferson Cortez				
<b>Muestra</b>	Almidón de cáscara de papa Natividad y Chola				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 196 – INV 197				
<b>Estado de la muestra</b>	Pulverizada				
<b>Envase de recepción</b>	Bolsa plástica				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Claridad, capacidad de retención de agua				
<b>Fecha de recepción</b>	3 de abril de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	4,5 y 6 de abril de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	2 de mayo de 2023				
<b>Técnico (s) asignado</b>	RCMR				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código de laboratorio	Muestra	Análisis	Método de análisis	Unidad	Resultado
INV 196	Almidón de cáscara de papa Natividad	Capacidad de absorción de agua	Anderson <i>et al.</i> , 1970	Capacidad de retención de agua en g/g almidón	60 °C – 24,45±3,09
					70 °C – 32,57±2,73
					80 °C – 33,30±1,21
					90 °C – 36,93±0,94
INV 196	Almidón de cáscara de papa Natividad	Claridad	Bello-Pérez <i>et al.</i> , 1999	% transmitancia	15,27±0,99
INV 197	Almidón de cáscara de papa Chola	Capacidad de absorción de agua	Anderson <i>et al.</i> , 1970	Capacidad de retención de agua en g/g almidón	60 °C – 23,24±0,29
					70 °C – 23,44±0,45
					80 °C – 27,95±1,03
					90 °C – 28,73±0,34
INV 197	Almidón de cáscara de papa Chola	Claridad	Bello-Pérez <i>et al.</i> , 1999	% transmitancia	15,82±0,69

 <b>UEB</b> UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR	<b>DIRECCIÓN DE          INVESTIGACIÓN          Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN          Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacabo II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda,          Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b> IR-AC
		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b> 1
			<b>Año</b> 2023
			<b>Página</b> Página 2 de 2


Ing. Favjan Bayas, Ph.D  
 Director de Investigación y Vinculación

ANEXO




## Anexo 4

### Análisis físico químico del plástico biodegradable


 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR</b>	<b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacolo II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	IR-PMA
		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
			<b>Año</b>	2023
			<b>Página</b>	Página 1 de 3

INFORME N° 118

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	María Naranjo – Jefferson Cortez				
<b>Muestra</b>	Bioplástico de cáscara de papa				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 212, INV 213, INV 214, INV 215, INV 216, INV 217				
<b>Estado de la muestra</b>	Sólida				
<b>Envase de recepción</b>	Papel				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Espesor, fuerza de tensión, densidad, solubilidad, humedad				
<b>Fecha de recepción</b>	8 de mayo de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	8 – 18 de mayo de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	18 de mayo de 2023				
<b>Técnico (s) asignado</b>	RCMR				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código de laboratorio	Muestra	Análisis	Método de análisis	Unidad	Resultado
INV 212	Bioplástico de almidón de papa natividad	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,35±0,08
INV 213	Bioplástico de almidón de papa natividad	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,61±0,10
INV 214	Bioplástico de almidón de papa natividad	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,65±0,09
INV 215	Bioplástico de almidón de papa chola	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,49±0,02
INV 216	Bioplástico de almidón de papa chola	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,82±0,13
INV 217	Bioplástico de almidón de papa chola	Espesor	Basiak <i>et al.</i> , 2017	mm	0,81±0,09
INV 212	Bioplástico de almidón de papa natividad	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	25,56±3,34
INV 213	Bioplástico de almidón de papa natividad	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	10,79±0,78
INV 214	Bioplástico de almidón de papa natividad	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	5,03±0,30
INV 215	Bioplástico de almidón de papa chola	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	24,58±3,56

 <b>UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLIVAR</b>	<b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> Laguacolo II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.		<b>Código</b>	<b>IR-PMA</b>
		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>		<b>Versión</b>	<b>1</b>
				<b>Año</b>	<b>2023</b>
				<b>Página</b>	<b>Página 2 de 3</b>

INV 216	Bioplástico de almidón de papa chola	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	13,99±3,24
INV 217	Bioplástico de almidón de papa chola	Fuerza de tensión	Ortega y Mejía, 2022	N	3,27±1,31
INV 212	Bioplástico de almidón de papa natividad	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,67±0,01
INV 213	Bioplástico de almidón de papa natividad	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,25±0,00
INV 214	Bioplástico de almidón de papa natividad	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,26±0,00
INV 215	Bioplástico de almidón de papa chola	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,25±0,00
INV 216	Bioplástico de almidón de papa chola	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,09±0,15
INV 217	Bioplástico de almidón de papa chola	Densidad	Rosales, 2016	g/mL	1,26±0,00
INV 212	Bioplástico de almidón de papa natividad	Solubilidad	Morocho, 2021	%	34,92±0,60
INV 213	Bioplástico de almidón de papa natividad	Solubilidad	Morocho, 2021	%	50,43±2,56
INV 214	Bioplástico de almidón de papa natividad	Solubilidad	Morocho, 2021	%	57,48±2,21
INV 215	Bioplástico de almidón de papa chola	Solubilidad	Morocho, 2021	%	30,28±0,73
INV 216	Bioplástico de almidón de papa chola	Solubilidad	Morocho, 2021	%	49,30±2,38
INV 217	Bioplástico de almidón de papa chola	Solubilidad	Morocho, 2021	%	55,75±0,21
INV 212	Bioplástico de almidón de papa natividad	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	15,21±0,66
INV 213	Bioplástico de almidón de papa natividad	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	17,76±0,71
INV 214	Bioplástico de almidón de papa natividad	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	17,76±0,49
INV 215	Bioplástico de almidón de papa chola	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	13,38±2,75

 <b>UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLIVAR</b> <b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguaquito II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	IR-PMA
		<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 3 de 3
<b>INFORME DE RESULTADOS</b>			

INV 216	Bioplástico de almidón de papa chola	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	13,98±1,42
INV 217	Bioplástico de almidón de papa chola	Humedad	AOAC Ed 19, 2012 925.10	%	16,00±0,42

Los resultados son expresados como media de tres replicas ± DE.



Ing. Favian Bayas, Ph.D  
**Director de Investigación y Vinculación**



## Anexo 5

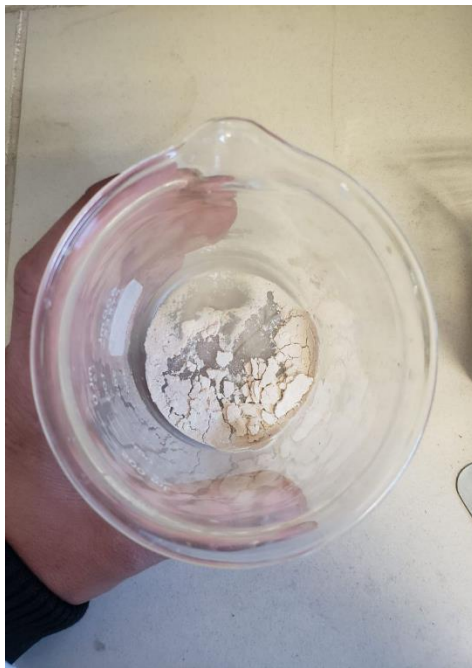
### *Extracción de almidón*



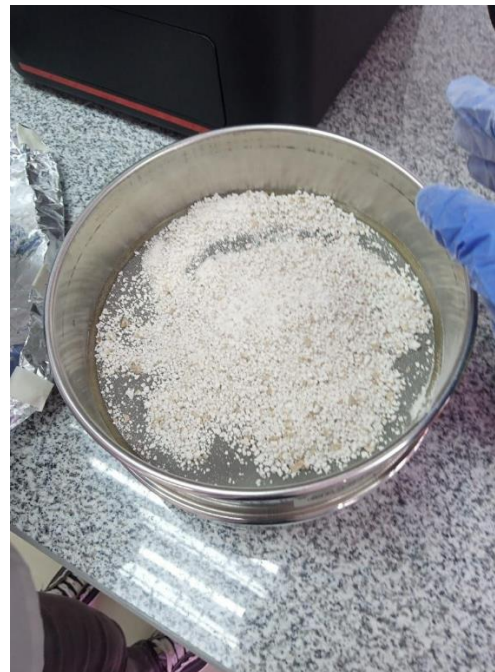
Recepción de la materia prima



licuado



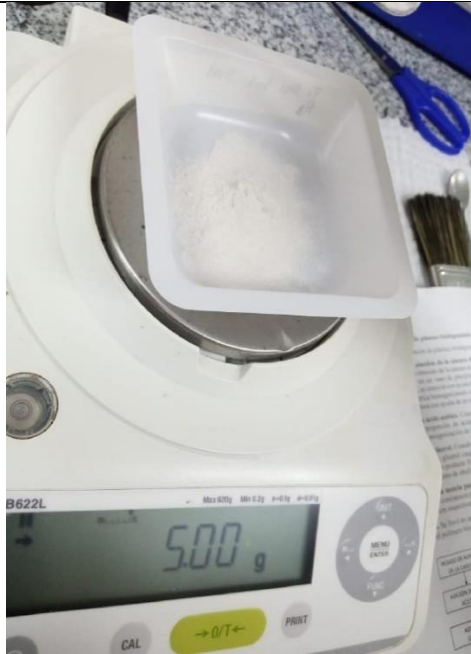
Secado



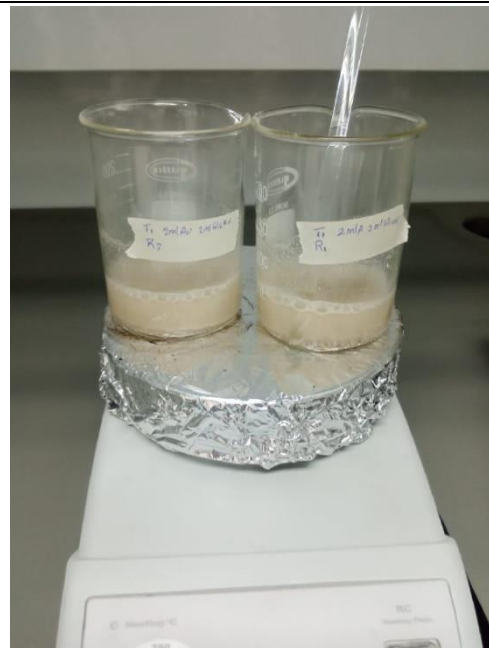
Tamizado

## Anexo 6

### *Elaboración del plástico biodegradable de almidón de cáscara de papa*



Pesado



Mezclado



Moldeado



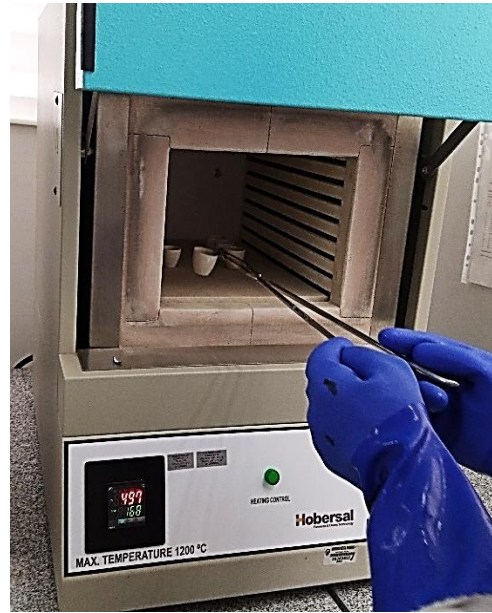
Secado

## Anexo 7

### Caracterización de la materia prima



Humedad



Ceniza



Fibra



Grasa

## Anexo 8

### Análisis del almidón de las cáscaras de papa



Humedad



Capacidad de absorción de agua



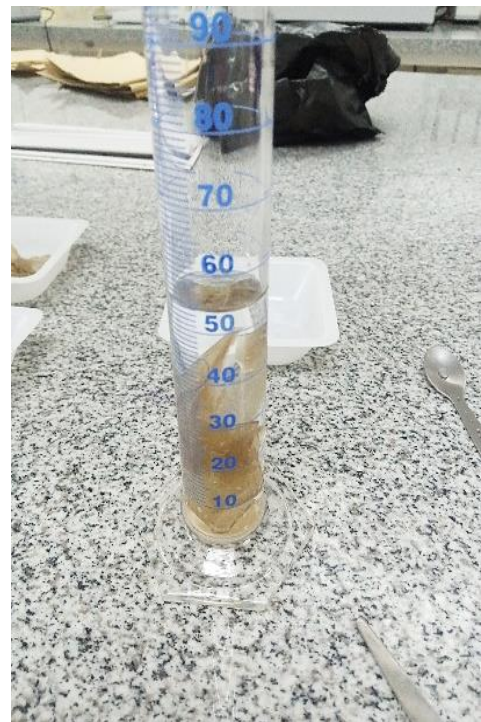
Transparencia

## Anexo 9

### *Análisis de las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable*



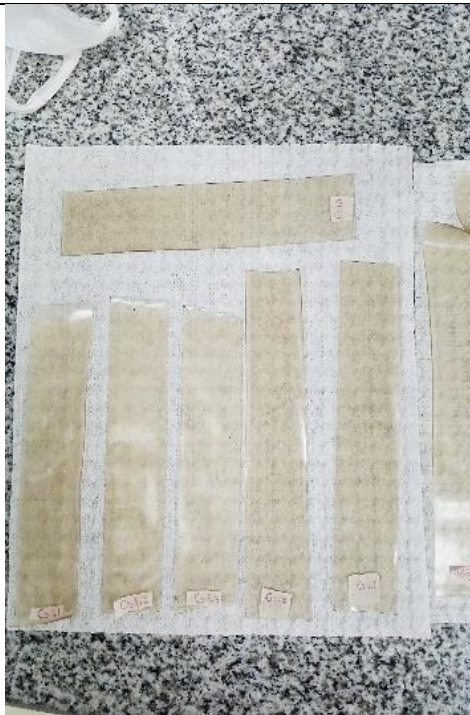
Espesor



Densidad



Solubilidad



Fuerza de tensión



Humedad del bioplástico

**Anexo 10**

*Biodegradabilidad el plástico*



Día 1



Día 5



Día 10



Día 15



Día 20



Día 25



Día 30



Día 35



Anexo 11

*Etiqueta comercial*



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Ácido cítrico**

Es un compuesto natural que se encuentra en todos los seres vivos, pero está particularmente concentrado en las frutas cítricas, el ácido cítrico comparte las características químicas de otros ácidos carboxílicos, cuando se calienta a más de 175 °C, se descompone produciendo dióxido de carbono y agua.

- **Almidón**

Es una macromolécula compuesta por dos polímeros de glucosa diferentes, la amilosa y la amilopectina, y es un carbohidrato de reserva en la mayoría de los vegetales, se emplea en la industria alimentaria, textil y papelera.

- **Biodegradable**

Es el producto o sustancia que puede descomponerse por organismos vivos como bacterias y hongos en un periodo corto de tiempo transformándose así en nutrientes, dióxido de carbono, biomasa y agua,

- **Biomasa**

Es un tipo de energía renovable generada a partir de la combustión de materia orgánica o también materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

- **Bioplásticos**

Son plásticos derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja, el maíz o la fécula de papas, cuyas propiedades no difieren necesariamente de las de los plásticos convencionales

- **Combustibilidad**

Es una medida de la facilidad con la que una sustancia se incendia, ya sea a través de fuego o combustión

- **Densidad**

Es la relación entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa (esa misma sustancia), la densidad es una de las propiedades físicas de la materia, y puede observarse en sustancias en sus distintos estados: sólido, líquido y gaseoso.

- **Fuerza de tensión**

Se conoce como fuerza de tensión a la fuerza que, aplicada a un cuerpo elástico, tiende a producir una tensión, una fuerza de tensión es la que se genera cuando se aplica una carga en los extremos de un objeto, normalmente en su sección transversal.

- **Glicerol**

Es un compuesto alcohólico con tres grupos hidroxilo. Es un compuesto orgánico, líquido, incoloro, inodoro y de sabor dulce, es muy soluble en agua y en alcohol, pero es insoluble en éter y muchos otros disolventes orgánicos

- **Polifenoles**

Son compuestos derivados del metabolismo secundario de las plantas y se encuentran naturalmente en alimentos y bebidas de origen vegetal, son sustancias presentes en las plantas con una alta capacidad antioxidante y con efectos positivos para tu salud.

- **Solubilidad**

Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra, se puede expresar mediante unidades de concentración.