



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE PELÍCULAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES  
A PARTIR DE VAINAS DE HABA (*Vicia faba*) PARA EL  
RECUBRIMIENTO DE FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: LISETTE HAYLIN PALACIOS PACHECO**

**DIRECTOR: Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS MSc.**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Lisette Haylin Palacios Pacheco

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

Yo, Lisette Haylin Palacios Pacheco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 10de Febrero de 2022




A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lisette Haylin Palacios Pacheco', written over a horizontal line.

**Lisette Haylin Palacios Pacheco**

**070642149-2**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **“OBTENCIÓN DE PELÍCULAS PLÁSTICAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE VAINAS DE HABA (*Vicia faba*) PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS”**, realizado por la señorita: **LISETTE HAYLIN PALACIOS PACHECO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores, Mgs <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>VIOLETA MARICELA DALGO FLORES</b>	2022-02-10
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MARCO RAUL CHUIZA</b>	2022-02-10
Dr. Fabián Ernesto Arias Arias, PhD <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ERNESTO</b>	2022-02-10

## **DEDICATORIA**

Quiero empezar dedicando este trabajo a Dios, por forjar mi vida y en especial por la sabiduría que me brindo para lograr este proyecto. A mis padres, Richard y Jaqueline, por siempre brindarme su amor gratificante y por formar parte fundamental en mi vida, les dedico todos mis logros en honor al sacrificio y ayuda que aportaron en mí, para cumplir poco a poco con este gran sueño de ser una profesional. A mis hermanos, Ariel y Vanessa, por ese cariño que han demostrado siempre en mí y por enseñarme la importancia de ser fuerte ante cualquier situación. A mi familia, en especial a mí abuelito Segundo, porque a pesar de no estar conmigo me dejó muchas enseñanzas de cómo afrontar las verdades que nos trae la vida, en fin a todos en general por sus consejos y palabras motivadoras que incentivaron en mi valentía y paciencia durante todo este proceso, y también porque formaron parte en todos sueños y metas.

*Lisette*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco primordialmente a Dios por ser esa luz incondicional que siempre ha orientado mi vida, por cuidar mi salud y la de mi familia, por mostrarme su gran amor mediante la confianza en su palabra, fe y la esperanza, ya que siempre me motivaban para lograr mis objetivos con gran afán.

A mis padres quienes aportaron un gran ejemplo en mi vida, por siempre fomentar en mí buenos valores, consejos brillantes que han sido de gran superación en mi vida, por su apoyo incondicional para cumplir mis aspiraciones y por supuesto por ser mi orgullo e inspiración más grande. A toda mi familia, pues siempre veían en mí un gran ejemplo a seguir, por todo su apoyo moral y físico que fue muy necesario y que me ayudó mucho en toda esta importante etapa de mi vida.

A mis amigos, por alentarme y compartir conmigo momentos de felicidad, gracias de todo corazón por su compañía, apoyo y comprensión.

Agradezco a la emblemática Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que con sus docentes y autoridades de la prestigiosa carrera de Ingeniería Química, me han brindado ayuda y han sido testigos de mi formación en esta etapa universitaria, un agradecimiento especial a los Técnicos Docentes de los laboratorios que me colaboraron en la elaboración de mi tesis y siempre estuvieron dispuestos a ayudar.

A mi tutor Ing. Marco Chuiza y miembro de tesis Ing. Fabián Arias, mi agradecimiento especial a ellos por su paciencia, orientación y guía en el desarrollo de esta Investigación, pero sobre todo por contribuir en mi formación como profesional al expresar sus sugerencias y observaciones.

*Lisette*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación de la investigación.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>General</i> .....	3
1.3.2. <i>Específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Marco conceptual o glosario.....	6
2.2.1. <i>Haba (Vicia faba)</i> .....	6
2.2.1.1. <i>Taxonomía</i> .....	6
2.2.1.2. <i>Generalidades</i> .....	7
2.2.1.3. <i>Vainas de Haba</i> .....	7
2.2.1.4. <i>Composición química</i> .....	7
2.2.2. <i>Plásticos</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Caracterización de los plásticos</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Polímero y polimerización</i> .....	8
2.2.2.3. <i>Plásticos biodegradables</i> .....	9
2.2.2.4. <i>Bioplásticos</i> .....	10
2.2.2.5. <i>Celulosa</i> .....	12
2.2.2.6. <i>Plástico de celulosa</i> .....	12
2.3. Planteamiento de las hipótesis.....	13

2.3.1.	<i>General</i> .....	13
2.3.2.	<i>Específicas</i> .....	13
2.4.	<b>Identificación de variables</b> .....	14
2.4.1.	<i>Obtención de celulosa</i> .....	14
2.4.2.	<i>Formulación de las películas plásticas biodegradables</i> .....	14
2.5.	<b>Operacionalización de variables</b> .....	15
2.6.	<b>Matriz de consistencia</b> .....	16
2.7.	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	17
2.8.	<b>Unidad de análisis</b> .....	19
2.9.	<b>Población de estudio</b> .....	19
2.10.	<b>Tamaño de la muestra</b> .....	19
2.11.	<b>Selección de muestra</b> .....	19
2.12.	<b>Técnica de recolección de datos</b> .....	19
2.12.1.	<i>Técnica de extracción de celulosa</i> .....	19
2.12.1.1.	<i>Análisis para realizar la caracterización de celulosa</i> .....	22
2.13.	<b>Técnica de obtención de bioplástico</b> .....	23

## CAPÍTULO II

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	26
3.1.	<b>Datos obtenidos en los ensayos realizados</b> .....	26
3.1.1.	<i>Ensayos preliminares para la obtención de celulosa</i> .....	27
3.1.1.1.	<i>Datos para el proceso de extracción de celulosa</i> .....	27
3.1.2.	<i>Datos para determinar las propiedades físico-mecánicas y biodegradabilidad</i> .....	28
3.1.2.1.	<i>Datos para determinar el espesor</i> .....	28
3.1.2.2.	<i>Datos para determinar la humedad</i> .....	28
3.1.2.3.	<i>Datos para determinar solubilidad</i> .....	29
3.1.2.4.	<i>Datos para determinar la permeabilidad</i> .....	29
3.1.2.5.	<i>Datos para determinar las pruebas mecánicas</i> .....	30
3.1.2.6.	<i>Datos para determinar la biodegradabilidad</i> .....	30
3.2.	<b>Cálculos</b> .....	31
3.2.1.	<i>Cálculos para determinar el rendimiento de extracción</i> .....	31
3.2.2.	<i>Cálculos para determinar la humedad</i> .....	31
3.2.3.	<i>Cálculos para determinar la solubilidad</i> .....	32
3.2.4.	<i>Cálculos para determinar la permeabilidad</i> .....	32
3.2.5.	<i>Cálculos para determinar la biodegradabilidad</i> .....	33
3.3.	<b>Resultados</b> .....	34



<b>3.3.1.</b>	<b><i>Caracterización de la celulosa</i></b> .....	34
<b>3.3.1.1.</b>	<i>Análisis organolépticos</i> .....	34
<b>3.3.1.2.</b>	<i>Análisis físico-químicos</i> .....	34
<b>3.3.1.3.</b>	<i>Análisis de espectro infrarrojo</i> .....	35
<b>3.3.1.4.</b>	<i>Resultados de rendimientos de extracción de celulosa</i> .....	37
<b>3.3.1.5.</b>	<i>Resumen estadístico de la extracción de celulosa</i> .....	37
<b>3.3.2.</b>	<b><i>Resultados de las pruebas físico-mecánicas y biodegradabilidad</i></b> .....	39
<b>3.3.2.1.</b>	<i>Espesor</i> .....	39
<b>3.3.2.2.</b>	<i>Humedad</i> .....	40
<b>3.3.2.3.</b>	<i>Solubilidad</i> .....	42
<b>3.3.2.4.</b>	<i>Permeabilidad</i> .....	43
<b>3.3.2.5.</b>	<i>Pruebas mecánicas</i> .....	44
<b>3.3.2.6.</b>	<i>Pruebas de biodegradabilidad</i> .....	49
<b>3.4.</b>	<b>Prueba de hipótesis</b> .....	51
<b>3.4.1.</b>	<b><i>Hipótesis 1</i></b> .....	51
<b>3.4.2.</b>	<b><i>Hipótesis 2</i></b> .....	52
<b>3.4.3.</b>	<b><i>Hipótesis 3</i></b> .....	52
<b>3.4.4.</b>	<b><i>Hipótesis 4</i></b> .....	52
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	53
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	54
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Antecedentes de la investigación.....	4
<b>Tabla 2 -2:</b> Taxonomía del haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	5
<b>Tabla 3-2:</b> Composición química del haba.....	7
<b>Tabla 4 -2:</b> Características de los diferentes bioplásticos.....	9
<b>Tabla 5-2:</b> Variables para la obtención de celulosa.....	13
<b>Tabla 6-2:</b> Variables de las películas plásticas biodegradables.....	13
<b>Tabla 7-2:</b> Operacionalización de variables.....	14
<b>Tabla 8-2:</b> Matriz de consistencia.....	15
<b>Tabla 9-2:</b> Variables respuestas a ser medidas.....	16
<b>Tabla 10-2:</b> Factores experimentales que van a variar.....	16
<b>Tabla 11-2:</b> Diseño experimental.....	16
<b>Tabla 13-2:</b> Formulaciones de las películas.....	17
<b>Tabla 13-2:</b> Resultados del experimento.....	17
<b>Tabla 14-2:</b> Técnica para la obtención de celulosa.....	18
<b>Tabla 15-2:</b> Pruebas para la caracterización de celulosa.....	21
<b>Tabla 16-2:</b> Técnica de obtención de plásticos biodegradables.....	23
<b>Tabla 17-2:</b> Ensayos para caracterizar la película bioplástica obtenida.....	25
<b>Tabla 1-3:</b> Características físicas de las vainas de haba.....	26
<b>Tabla 2 -3:</b> Características organolépticas de las vainas de haba.....	27
<b>Tabla 3-3:</b> Datos obtenidos en la extracción de la celulosa.....	27
<b>Tabla 4-3:</b> Datos del ensayo de determinación de espesor.....	28
<b>Tabla 5-3:</b> Datos recolectados del ensayo de humedad.....	28
<b>Tabla 6-3:</b> Datos recolectados en el ensayo de solubilidad.....	29
<b>Tabla 7-3:</b> Datos recolectados en el ensayo de permeabilidad.....	29
<b>Tabla 8-3:</b> Datos recolectados en el ensayo de tracción.....	30
<b>Tabla 9-3:</b> Datos recolectados para la biodegradabilidad.....	30
<b>Tabla 10-3:</b> Características organolépticas de la celulosa.....	34
<b>Tabla 11-3:</b> Parámetros físico-químicos de la celulosa.....	34
<b>Tabla 12-3:</b> Lecturas y observaciones del espectro infrarrojo.....	35
<b>Tabla 13-3:</b> Rendimientos de la extracción de celulosa.....	37
<b>Tabla 14-3:</b> Resumen Estadístico para rendimiento de extracción de celulosa.....	38
<b>Tabla 15-3:</b> ANOVA para el rendimiento de extracción de celulosa por tratamientos.....	38
<b>Tabla 16-3:</b> Espesores medios por tratamiento.....	39
<b>Tabla 17-3:</b> Humedades medias por tratamientos.....	40
<b>Tabla 18-3:</b> Solubilidad media por tratamientos.....	42

<b>Tabla 19-3:</b> Permeabilidad media por tratamiento.....	43
<b>Tabla 20-3:</b> Resultados de las pruebas de tracción.....	44
<b>Tabla 21-3:</b> Resumen Estadístico para la resistencia a la tensión de las biopelículas.....	45
<b>Tabla 22-3:</b> ANOVA para la tensión por tratamiento.....	45
<b>Tabla 23-3:</b> Resumen estadístico para la elongación de las biopelículas.....	47
<b>Tabla 24-3:</b> ANOVA para la elongación por tratamiento.....	47
<b>Tabla 25-3:</b> Resultados obtenidos en las pruebas de biodegradabilidad.....	49
<b>Tabla 26-3:</b> Biodegradabilidad media por tratamientos.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	6
<b>Figura 2-2:</b> Estructura química de la celulosa.....	11
<b>Figura 3-2:</b> Puntos de diseño.....	17
<b>Figura 1-3:</b> Vainas de haba.....	26
<b>Figura 2-3:</b> Espectro infrarrojo de la celulosa a partir de vainas de haba.....	35
<b>Figura 3-3:</b> Espectro infrarrojo de aislado de celulosa a partir de cáscaras de nuez.....	36
<b>Figura 4-3:</b> Dispersión por código de nivel por tratamientos.....	38
<b>Figura 5-3:</b> ANOVA para el rendimiento de extracción.....	39
<b>Figura 6-3:</b> Dispersión de la tensión por código de nivel.....	45
<b>Figura 7-3:</b> Gráfico ANOVA para la tensión.....	46
<b>Figura 8-3:</b> Dispersión por código de nivel para el rendimiento de elongación.....	47
<b>Figura 9-3:</b> Gráfico ANOVA para la elongación.....	48
<b>Figura 10-3:</b> Recubrimiento de frutas.....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Diagrama de bloques de obtención de celulosa.....	20
<b>Gráfico 2-2:</b> Diagrama de bloque del proceso de elaboración de plástico biodegradable .....	24
<b>Gráfico 1-3:</b> Espesores medios por tratamiento.....	40
<b>Gráfico 2-3:</b> Humedad media por tratamientos.....	41
<b>Gráfico 3-3:</b> Solubilidad media por tratamientos.....	42
<b>Gráfico 4-3:</b> Permeabilidad media por tratamientos.....	43
<b>Gráfico 5-3:</b> Resistencia a la tensión media por tratamientos.....	46
<b>Gráfico 6-3:</b> Media del porcentaje de elongación por tratamientos.....	48
<b>Gráfico 7-3:</b> Biodegradabilidad media por tratamientos y condiciones.....	50

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

**ANEXO B:** OPERACIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA

**ANEXO C:** OBTENCIÓN DE LA CELULOSA

**ANEXO D:** FORMULACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO E:** OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO F:** PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO G:** PRUEBA DE SOLUBILIDAD

**ANEXO H:** PRUEBA DE PERMEABILIDAD

**ANEXO I:** PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

**ANEXO J:** RESULTADOS DE BIODEGRADABILIDAD

**ANEXO K:** RESULTADOS PRUEBA DE TRACCIÓN

**ANEXO K:** RECUBRIMIENTO DE FRUTAS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ANOVA</b>	Análisis de la varianza con un factor
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>BioPA</b>	Biopoliamida
<b>BioPE</b>	Biopoliestireno
<b>BioPET</b>	Biotereftalato de polietileno
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>IR</b>	Infrarrojo
<b>LSD</b>	Diferencia mínima significativa
<b>MP</b>	Materia prima
<b>NTE</b>	Normas técnicas ecuatorianas
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>PLA</b>	Poli ácido láctico
<b>PHA</b>	Polihidroxialcanoatos
<b>RA</b>	Reactivo analítico

## RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto de investigación es obtener películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas, por lo que se extrajo celulosa por hidrólisis básica. Se realizó la caracterización de la celulosa, donde se obtuvo como parámetros destacados el pH 6,20 y la humedad 4,64%. Además, se realizó un espectro infrarrojo que constató que la materia prima se trata de celulosa. Las variables que generaron el mejor tratamiento de extracción de celulosa fue el T6 a una velocidad alta durante 120 segundos. Se obtuvo películas plásticas biodegradables mediante un diseño factorial 2 al cuadrado, en el cual se determinó cuatro tratamientos con tres repeticiones en cada uno de ellos, indicando que el TP2 con 2g de celulosa y 3g de plastificante, presenta mejores características; con humedad del 0,674 %, permeabilidad  $9,75E-3$ (mmg/m<sup>2</sup>h), solubilidad 47,317% y una degradación del 21,899%, 12,501% y 26,931% en un lapso de 30 días, en condiciones agua, ambiente y suelo, según las especificaciones para plásticos compostables. En cuanto a las propiedades de tracción se basó en la INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas) presento una resistencia a la tensión de 304,445 N/cm<sup>2</sup> y módulo de elongación de 154,433%. Se concluye que el bioplástico obtenido cumple con los parámetros dentro de las normas establecidas y es apto como recubrimiento de alimentos. Se recomienda el estudio con el uso de diferentes plastificantes que aumenten las propiedades del bioplástico.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <PLÁSTICO BIODEGRADABLE>, <VAINAS>, <HABA (*Vicia faba*)>, <CELULOSA>, <PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS>, <FRUTAS Y VERDURAS>.

LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente  
por LEONARDO FABIO  
MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.08.03  
17:41:16 -05'00'



1490-DBRA-UTP-2021



## SUMMARY

The main objective of this research project is to obtain biodegradable plastic films from bean pods (*Vicia faba*) for coating fresh fruits and vegetables, for which cellulose was extracted by basic hydrolysis. The characterization of the cellulose was carried out, where pH 6.20 and humidity 4.64% were obtained as outstanding parameters. In addition, an infrared spectrum was carried out which found that the raw material is cellulose. The variables that generated the best cellulose extraction treatment was T6 at high speed or 120 seconds. Biodegradable plastic films were obtained by means of a factorial design 2 squared, in which four treatments were determined with three repetitions in each one of them, indicating that the TP2 with 2g of cellulose and 3g of plasticizer, presents better characteristics; with humidity of 0,674 %, permeability  $9,75E-3$  (mmg / m<sup>2</sup>h), solubility 47,317% and a degradation of 21,899%, 12,501% and 26,931% in a period of 30 days, in water, environment and soil conditions, according to the specifications for compostable plastics. Regarding the tensile properties, it was based on INEN 2635 (Test Method for the Tensile Properties of Thin Plastic Sheets) presenting a tensile strength of 304,445 N / cm<sup>2</sup> and elongation modulus of 154,433%. It is concluded that the bioplastic obtained complies with the parameters within the established standards and is suitable as a food coating. The study with the use of different plasticizers that increase the properties of the bioplastic is recommended.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BIODEGRADABLE PLASTIC>, <SHEATHS>, <BEAN (*Vicia faba*)>, <CELLULOSE>, <PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES>, <FRUITS AND VEGETABLES>.



Firmado electrónicamente por:  
NANCI  
MARGARITA INCA  
CHUNATA

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, hemos consumido polímeros naturales como algodón, seda, madera, cuero entre otros. Sin embargo, el descubrimiento del petróleo proporcionó una variedad cada vez más amplia de materiales sintéticos (De Azeredo, 2014, p.819).

Al principio del siglo XX llegan los plásticos a la industria, donde gran parte de ellos se destinan al envasado de alimentos. El bajo costo de producción y sus excelentes propiedades mecánicas han provocado que el uso de este material se incremente, no obstante, los combustibles fósiles son limitados y no renovables, además el reciclaje presenta dificultades técnicas y económicas (De Azeredo, 2014, p.819), según la ONU (2018) reveló cifras donde se manifiestan que en todo el mundo solo se recicla el 9% del plástico usado (El País, 2018, párr.3), el verdadero problema radica cuando una vez desechados generalmente después de un solo uso, los plásticos a base de petróleo no son biodegradables (De Azeredo, 2014, p.819), ya que son resistentes al ataque microbiano, debido a que son insolubles en agua y que los procesos evolutivos no han sido lo suficientemente rápidos para crear nuevas enzimas capaces de degradar polímeros sintéticos durante su relativamente corta existencia en el medio natural (Mueller, 2006, pp. 2124-2128).

Singularmente, la acumulación de residuos ocasionados por la constante y prolongada eliminación de embalajes, recubrimientos y envases de alimentos, ha generado gran preocupación sobre sus efectos en la vida silvestre y el ambiente. Ya que según Jayasekara et al (2005) advierte que incluso su incineración puede producir compuestos tóxicos como furanos y dioxinas (Jayasekara et al., 2005; citado en De Azeredo, 2014). En la actualidad, con ánimo de reducir este impacto negativo en torno a los plásticos convencionales a base de petróleo se ha estimulado el uso de macromoléculas naturales como polisacáridos y proteínas, debido a su suministro sostenible y biodegradabilidad (Verbeek et al., 2010, pp. 1-10). Según estudios de Helmut Kaiser Consultancy (2012), se espera que “los bioplásticos cubran aproximadamente entre el 25% y el 30% del total del mercado de los plásticos para 2020” (Helmut Kaiser Consultancy, 2012; citado en De Azeredo, 2014).

Con el afán de colaborar en la disminución del impacto ambiental que provocan los plásticos convencionales, se genera este estudio que se fundamenta en la obtención de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas incrementado su tiempo de vida útil con el aprovechamiento de residuos orgánicos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Identificación del problema

La generación anual de 300 millones de toneladas de plástico, conlleva a que el ambiente se vea afectado, ya que estos valores siguen en crecimiento constante debido a que el plástico se ha convertido en un producto multiuso diario. Todas estas toneladas desembocan en los océanos convirtiéndolos en las regiones mayormente contaminadas ya que la masa de plástico supera a la del plancton por seis veces. El plástico es un derivado del petróleo, lo vemos en una infinidad de productos, sus propiedades mecánicas hacen que puedan ser encontrados desde botellas para envasar agua hasta autopartes. Sin embargo, el petróleo es un recurso no renovable y en un futuro muy cercano está destinado a su extinción. De hecho, la fabricación de plástico en la actualidad representa alrededor del 8% del consumo de petróleo (Greenpeace, 2020, párr.5).

A pesar de la versatilidad y el bajo costo de producción que presenta el plástico, no deja de ser un contaminante, muchos son de uso único, y es aquí el problema, tan solo una bolsa de plástico puede tardar más de 100 años en degradarse ya que son resistentes al ataque microbiano, debido a que son insolubles en agua y que los procesos evolutivos no han sido lo suficientemente rápidos para crear nuevas enzimas capaces de degradar polímeros sintéticos durante su relativamente corta existencia en el medio natural (Mueller, 2006, pp. 2124-2128), lo cual ocasiona que la acumulación de plástico desechado en nuestro planeta sea un daño cada vez mayor (Avellán, 2020). En el caso de Europa cerca del 40% de la producción se destina a envases y envoltorios de un solo uso (Jiménez, 2017, p.1).

Estas cifras provoca preocupación acerca del impacto ambiental de este material, lo cual ha originado que se empiecen a utilizar alternativas novedosas que sustituyan a los plásticos petroquímicos. Si hablamos a nivel local se genera aproximadamente 8 toneladas de desechos diarios por plásticos (Villaruel, 2020, párr.4).

## **1.2. Justificación de la investigación**

Una alternativa para reducir el impacto negativo que provocan los plásticos de origen petroquímico, es la utilización de fuentes vegetales que contengan polisacáridos y proteínas, debido a su suministro sostenible y biodegradabilidad (Verbeek et al., 2010) a estos se les denomina comúnmente como bioplásticos. Experiencias previas han demostrado que es posible obtener películas plásticas biodegradables y flexibles, a partir del almidón de yuca y pectina, olote de maíz, papa, plátano entre otros polímeros, así como patentes para procesos de producción de almidón termoplásticos (Riera et al., 2018, p.1).

Es por ello, el interés de considerar vainas de haba como base orgánica para la obtención de películas plásticas biodegradables como reemplazo al plástico convencional, ya que por falta de conocimiento estos residuos no son aprovechados.

En Ecuador el cultivo de haba es tradicional, generalmente en la sierra alta, se cultiva desde la provincia del Carchi hasta Loja (Ríos, 2007, p.3), con una producción total de 5.663,54 Toneladas de haba en grano seco y de 13.894,10 Toneladas de grano tierno (Yáñez, 2013, p. 2).

Por lo expuesto anteriormente se propone como alternativa al plástico convencional, la obtención de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas que contribuirá a aminorar la contaminación ambiental, beneficiando al sector agrícola generando una economía circular ayudando de esta manera al progreso del país.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. General**

Obtener películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas.

### **1.3.2. Específicos**

- Extraer la celulosa de las vainas de haba (*Vicia faba*).
- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima utilizada en la obtención de películas plásticas biodegradables.
- Obtener películas plásticas biodegradables a nivel de laboratorio a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) mediante la adición de aditivos determinando las formulaciones y parámetros de proceso idóneos.
- Validar el bioplástico obtenidos mediante su caracterización en base a la normas técnica ecuatoriana INEN 2635 Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas

plásticas delgadas, INEN 2642:2012 Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica en el suelo de los materiales plásticos o de materiales plásticos residuales después del compostaje y la norma ASTM D1653-93 Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de películas de revestimiento orgánico.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Anualmente la producción mundial de plástico va en incremento, lo que provoca que su eliminación sea cada vez más difícil, generando preocupación debido a la contaminación que este material causa. El impacto positivo a esto son las actividades de innovación e investigación que se han creado, otorgando alternativas a los plásticos convencionales. Algunos hallazgos importantes son los biopolímeros innovadores como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA). Sin embargo, los costos de producción de estos bioplásticos son ampliamente más altos que los plásticos derivados del petróleo (entre 5 a 10 veces más). Muchos investigadores han trabajado arduamente en desarrollar alternativas más amigables con el ambiente y que sean rentables para la producción de plásticos. Una de las opciones que ofrecen sería la de explorar los desechos y subproductos agroalimentarios para la producción de bioplásticos. “Esto no solo reduciría el volumen de desechos y subproductos, sino también los costos de producción incurridos”. La siguiente tabla proporciona una descripción general de los estudios que emplearon el uso de los residuos alimentarios industriales para la producción de bioplásticos (Jogi et al., 2020, p. 2).

**Tabla 1-2:** Antecedentes de la investigación

Autor	Año	Lugar	Tema	Tipo de investigación
Muralidharan et al.	2019	India	Bioplástico biodegradable a base de residuos de poda de cortados: fácil síntesis y caracterización de propiedades	Artículo científico- <i>Polymer Testing</i>
Jogi et al.	2020	Estonia	Valorización de residuos y subproductos del procesamiento de alimentos para la producción de bioplásticos	Artículo científico- <i>Sustainable Chemistry and Pharmacy</i>
Azmin et al.	2020	Malasia	Desarrollo y caracterización de film bioplástico para envasado de alimentos a partir de celulosa de cascarilla de cacao incorporada con fibra de bagazo de caña de azúcar	Artículo científico- <i>Journal of Bioresources and Bioproducts</i>
Asrofi et al.	2020	Indonesia	Característica de los bioplásticos compuestos de almidón de tapioca y fibra de bagazo de caña de azúcar: Efecto del tiempo de duración de la ultrasonicación (tipo baño).	Artículo científico- <i>Materials Today: Proceedings</i>
Liu et al.	2020	Estados Unidos	Preparación ecológica y fácil de bioplásticos hidrófobos a partir de residuos de té.	Artículo científico- <i>Journal of Cleaner Production</i>
Chia et al.	2020	Malasia	La lucha de la naturaleza contra la contaminación plástica: las algas para la biodegradación del plástico y la producción de bioplásticos	Artículo científico- <i>Environmental Science and Ecotechnology</i>
Thiruchelvi et al.	2020	India	Los bioplásticos como mejor alternativa al petroplástico	Artículo científico- <i>Materials Today: Proceedings</i>

Perotto et al.	2020	Italia	Plastificación inducida por agua en películas bioplásticas de base vegetal: un estudio estructural y termomecánico	Artículo científico- <i>Polymer</i>
Zimmermann et al.	2020	Alemania	¿Son los bioplásticos y los materiales vegetales más seguros que los plásticos convencionales? Toxicidad in vitro y composición química	Artículo científico- <i>Environment International</i>

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

## 2.2. Marco conceptual o glosario

### 2.2.1. *Haba (Vicia faba)*

#### 2.2.1.1. Taxonomía

Su clasificación taxonómica se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 2 -2:** Taxonomía del haba (*Vicia faba*)

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Tracheophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden</b>	<i>Fabales</i>
<b>Familia</b>	<i>Fabaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Vicia</i>
<b>Especie</b>	<i>Vicia faba</i>

**Fuente:** (Peruguachi, 2017, p. 2).

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

### 2.2.1.2. Generalidades

El haba (*Vicia faba*) es la séptima legumbre de grano en importancia en el mundo y la típica leguminosa de doble utilización tanto para alimentación humana como animal, constituyendo en muchos países la mayor fuente de proteína en alimentación humana. En Europa, con el 17% de la producción mundial, su principal utilización es en alimentación animal (Rees et al., 2000: citado en Confalone, 2008).

Es un cultivo anual, la forma del tallo principal es cuadrada con aristas y coloración verde en la base y violáceo en el ápice. La planta puede alcanzar una altura de 1,4 a 1,6 m, presenta una raíz pivotante; la coloración del follaje es verde pálido, hojas ovaladas y compuestas con 2 o 4 folíolos. Las flores están agrupadas en racimos cortos, blancas con alas negras en la base (Malenica et al., 2009; citado en Peruguachi, 2017).



**Figura 1-2:** Haba (*Vicia faba*)

**Fuente:** (Peruguachi, 2017, p.3).

### 2.2.1.3. Vainas de Haba

Posee una vaina alargada de longitud variable entre 10 y 30 cm y consistencia carnosa, tienen un tabique esponjoso con una especie de pelo afelpado entre las semillas siendo éstas más o menos aplastadas. Dentro de esta vaina se ubican las semillas puestas en fila. La vaina, de color verde en estado inmaduro, se oscurece y se vuelve pubescente al secarse. Los granos en el interior de la misma varían entre 2 y 9 (Smith, 2020, p.6).

### 2.2.1.4. Composición química

Por cada 100 gramos de haba se encuentra la siguiente composición:



**Tabla 3-2:** Composición química del haba

<b>Parámetro</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Agua</b>	65-70%
<b>Hidratos de carbono</b>	17-20%
<b>Proteína</b>	7-9%
<b>Grasas</b>	0,4-0,7%
<b>Celulosa</b>	2,75%
<b>Sales minerales y vitaminas</b>	2,50%

Fuente: (Smith, 2020, p.6).

Realizado por: Palacios, Lisette, 2020.

### 2.2.2. *Plásticos*

La palabra plástico proviene de la palabra griega “Plastikos” y del latín “Plasticus” que significa capaz de ser moldeado en diferentes formas, término que expresa la principal propiedad de moldear fácilmente y no a un material en sí. Los plásticos están formados por largas cadenas de moléculas llamadas polímeros, obtenidas por síntesis química (Shah, et. al., 2008; citado en Hernández, 2013).

#### 2.2.2.1. *Caracterización de los plásticos*

Estos materiales se caracterizan por ser sustancias sólidas a temperatura ambiente, viscosa, elástica o quebradiza, y algunas pueden formar películas o fibras. Producidos a partir de materiales sintéticos derivados del petróleo, carbón de hulla, del gas natural y de compuestos orgánicos. Siendo éstos de alto peso molecular sintetizados a partir de compuestos de bajo peso molecular y a través de la modificación química de materiales naturales de alto peso molecular (principalmente celulosa) (Rafael, 2010; citado en Hernández, 2013).

#### 2.2.2.2. *Polímero y polimerización*

##### 2.2.2.2.1. *Polímero*

Un polímero (también denominado a menudo resina) es una macromolécula formada por la unión de muchas moléculas más pequeñas llamadas monómera. El tipo de monómeros, la forma en la que se acomodan y la longitud de la cadena es lo que le da a un polímero sus características particulares. Tanto el punto de fusión como la resistencia son proporcionales al tamaño de las moléculas. Proveedores de resina transforman el monómero en polímero, es decir, un monómero de etileno se convierte en Polietileno; el de estireno en Poliéstireno; el de cloruro de vinilo en polícloruro de vinilo, etc. Propiedad que favoreció el incremento en la producción y consumo de plásticos a una velocidad muy superior a cualquier otro material en volumen, dejando atrás a la

era del hierro y entrando a la del plástico. El carácter de una era está definida por el material más usado en la manufactura (Hernández, 2013, p. 18).

#### 2.2.2.2.2. *Polimerización*

Obteniendo de dichos procesos un compuesto macromolecular orgánico al cual podrán añadirse otras sustancias o materias, consideradas aditivos. La unión de las moléculas de monómeros para constituir las cadenas de polímeros pueden realizarse por dos métodos: adición, se realiza mediante un iniciador que puede ser un radical libre o un grupo iónico, el iniciador atrae uno de los electrones de un doble enlace del monómero, dejando libre el otro electrón, que se fija a otra molécula del monómero por el mismo procedimiento, originándose así una molécula más grande, uniéndose así a través de enlaces químicos covalentes; y la condensación, produce una reacción entre los grupos funcionales presentes, eliminándose una molécula pequeña, generalmente agua, formándose un dímero, las moléculas de este vuelven a reaccionar de la misma forma dando un polímero compuesto por cuatro dímeros y así sucesivamente. Por lo que las cadenas de este proceso tienden a ser ramificadas y no lineales, obteniéndose un compuesto macromolecular orgánico al cual podrán añadirse otras sustancias o materias, consideradas aditivos (Pelayo, 2009, p.21).

- Clasificación de polímeros.

Los polímeros se clasifican de acuerdo a cuatro criterios:

- Su origen: naturales y sintéticos.
- Su estructura molecular: homopolímeros, copolímeros, terpolímeros, tetrapolímeros, pentapolímeros y multipolímeros.
- Su configuración de las cadenas: atácticos, isotácticos y sindiotácticos
- Su comportamiento frente al calor: termoplásticos, termofijos o también llamados termoestables y elastómeros (Hernández, 2013, p. 19).

#### 2.2.2.3. *Plásticos biodegradables*

El estudio de los plásticos biodegradables comenzó a partir de los años 70's, con el estudio del almidón y por los 80's se empezó a buscar plásticos, que pudieran ser diseñados y se hicieran susceptibles al ataque microbiológico con la finalidad de ser biodegradables en un ambiente microbiano activo. Sin embargo el término plástico biodegradable suele utilizarse por los productores de plásticos especialmente con una base petroquímica modificada que parece

biodegradarse, este tipo de plásticos pueden ser contemplados como plásticos degradables o plástico fotodegradable ya que el proceso no se inicia por la acción microbiana (Hernández, 2013, p.14).

#### 2.2.2.4. Bioplásticos

Los bioplásticos son una forma de plásticos derivados de fuentes renovables de biomasa, tal como el aceite vegetal, almidón de maíz, almidón de guisante ó microbiota. Algunos, pero no todos los bioplásticos están diseñados para biodegradarse (CORDIS SERVICES, 2009; Hong, et. al., 2009). Las características de los materiales de fuentes renovables para los bioplásticos deben ser similares a los plásticos convencionales. Los polihidroxicanoatos (PHA), polilácticos, policaprolactonas, poliésteres alifáticos, polisacáridos y copolímeros o mezcla de ambos, han sido desarrollados satisfactoriamente durante los últimos años. Por tanto se trata de polímeros biodegradables o biopolímeros, definidos como todos aquellos que después de su vida útil sufren cambios por microorganismos, transformándolos a través de dos vías: anaeróbica y aeróbica, en energía, CO<sub>2</sub>, agua, metano, biomasa y componentes inorgánicos y pueden ser tanto de origen natural como sintetizados del petróleo. Los biopolímeros de recursos renovables son producidos a partir de biomasa para la industria del envase. Biomasa proveniente de cosechas como la remolacha, azucarera, papas, trigo o maíz (Hernández, 2013, p. 32).

**Tabla 4 -2:** Características de los diferentes bioplásticos

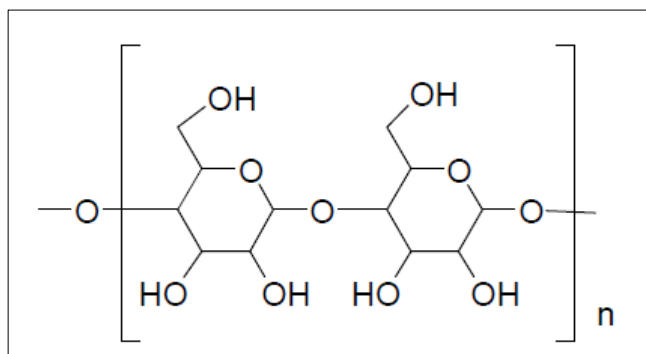
<b>Materiales</b>	<b>Origen / Fin de vida útil</b>	<b>Recursos</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Aplicaciones</b>
Sostenibles (BioPET, BioPE, BioPA, etc.)	20 a ≈ 100 % de origen biológico, no biodegradable ni compostable	Caña de azúcar, melaza, aceites vegetales	Equivalentes a los polímeros clásicos, siguen siendo reciclables, no biodegradables, fáciles de usar	Todo tipo de envases, piezas técnicas...
PLA	≈100% de origen biológico y 100% biodegradable y compostable	Almidón (maíz), caña de azúcar, remolacha azucarera, tapioca, etc.	Transparente, rígido, baja resistencia térmica, bajas propiedades barrera	Envases agroalimentarios (bandejas, films, vasos...), cosmética, piezas inyectadas, biocomposites...
PHAs	≈100% de origen biológico y 100% biodegradable y compostable	Almidón (maíz), azúcar (caña de azúcar, remolacha), biomasa	De opaco a translúcido, de rígido a elastómero, buena resistencia térmica y propiedades barrera	Biocomposites, piezas inyectadas, film de envasado,...
Biopoliésteres	Parcialmente de origen biológico y 100% biodegradable y compostable	Caña de azúcar, almidón, etc.	De opaco a translúcido, de rígido a flexible, buena resistencia térmica	Bolsas, film de acolchado, frascos, piezas inyectadas...
Derivados de celulosa	De origen biológico en su mayoría. Pueden ser biodegradables y compostables	Pulpa de madera	Transparente, rígido, buenas propiedades térmicas, mecánicas y de barrera	Envases agroalimentarios (film), piezas inyectadas...

Bioelastómeros	Parcialmente de origen biológico y/o 100% biodegradables y compostables	Diferentes polioles de origen biológico (aceites vegetales, azúcares, etc.)	Muy flexible, buenas propiedades mecánicas y fácilmente transformable	Principalmente piezas técnicas e inyectadas
Compuestos a base de almidón	Parcialmente de origen biológico. Pueden ser biodegradables y compostables	Almidón (maíz, patata, etc.), harinas	Flexible, sensible a la humedad, biodegradación controlada	Bolsas, film de acolchado, horticultura...
Biocomposites	Parcialmente de origen biológico. Pueden ser biodegradables y compostables	Fibras de madera, cáñamo, lino, bambú y matriz bioplástica o convencional	Rígido, buena resistencia mecánica y térmica, fácilmente transformable	Principalmente piezas técnicas e inyectadas

**Fuente:** (Nature plast, 2020, párr.15).

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2020.

### 2.2.2.5. Celulosa



**Figura 2-2:** Estructura química de la celulosa

**Fuente:** (Sanz, 2020, p.17).

La celulosa es la principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm., las de Pino 2-3 mm y las de Eucalipto 0,6-0,8 mm. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. La celulosa está constituida por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa a través de enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez. La celulosa constituye una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva de forma continua mediante la fotosíntesis. La celulosa se encuentra en las frutas, las hortalizas y los cereales como constituyente estructural de las paredes celulares, y también la producen ciertos microorganismos. Es parte de la fibra cruda, por lo que se elimina en las heces sin haber sido aprovechada. En el arroz, el maíz y el trigo se localiza en el pericarpio, y en el germen junto con las hemicelulosas y la lignina, representando 1.0, 2.5 y 2.0% del grano, respectivamente (Cruz, 2010, p.10).

### 2.2.2.6. Plástico de celulosa

A partir de la celulosa se obtiene nuestro siguiente plástico natural, el acetato de celulosa. La celulosa se obtiene de las paredes de las células vegetales y es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de  $\beta$ -glucosa. Si se hace reaccionar a la celulosa con el anhídrido acético se convierte en acetato de celulosa (Yanisapb, 2015, p.3).

Los plásticos de acetato de celulosa no tienen realmente propiedades sobresalientes. Su descripción general es la de un termoplástico relativamente duro y brillante, incoloro transparente y amorfo con una buena claridad. Tiene estabilidad a los rayos UV y resistencia química moderada. Pobres características como aislante térmico y limitada resistencia al envejecimiento y al calor, siendo atacados por una gran variedad de reactivos y disolventes. Su gran absorción de humedad puede acarrear las usuales dificultades de los cambios dimensionales (Yanisapb, 2015, p.3). Sus principales usos son:

- Se emplea en láminas delgadas para pantallas o vitrinas de alta calidad, y como láminas un poco más gruesas para las monturas de las gafas y demás artículos ópticos
- En empaques y películas fotográficas por su condición de transparente.
- Para artículos personales donde se aproveche su dureza, flexibilidad y alto brillo, así como para la brillante cubierta exterior de los discos fonográficos y otros usos menores, incluyendo teclas para piano, bolas de billar, botones en teclados de instrumentos, películas transparentes para proyectores y cajas para perfumes (Yanisapb, 2015, p.3).

### **2.3. Planteamiento de las hipótesis**

#### **2.3.1. General**

Las películas plásticas biodegradable obtenidas crean una barrera física a los gases, modificando la atmosfera interna de la fruta y verdura a recubrir retrasando el deterioro de frutas y verduras frescas.

#### **2.3.2. Especificas**

- El método por hidrolisis básica será efectivo permitiendo tener un alto rendimiento de extracción de celulosa.
- La cantidad de celulosa y aditivos permite la formación de una película bioplástica
- El plástico biodegradable presenta propiedades similares a los recubrimientos habituales.

## 2.4. Identificación de variables

### 2.4.1. Obtención de celulosa

**Tabla 5-2:** Variables para la obtención de celulosa

Variable independiente		Subvariables	
<b>Velocidad:</b>			
Velocidad media		Velocidad alta	
<b>Tiempo:</b>			
60 segundos	90 segundos	120 segundos	
<b>Variable dependiente</b>			
Cantidad de celulosa			

Realizado por: Palacios, Lisette, 2020.

### 2.4.2. Formulación de las películas plásticas biodegradables

**Tabla 6-2:** Variables de las películas plásticas biodegradables

Variables Dependientes	Variables Independientes
Películas plásticas biodegradables	% celulosa de vainas de haba
	% plastificante

Realizado por: Palacios, Lisette, 2020.

## 2.5. Operacionalización de variables

**Tabla 7-2:** Operacionalización de variables

Variable	Tipo de variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición
Obtención de celulosa	Dependiente	Principal polisacárido producido por la fotosíntesis de las plantas. Tiene ventajas, como renovabilidad, reversibilidad, biodegradabilidad completa, excelente biocompatibilidad, alta propiedad mecánica y capacidad de diseño estructural. (Zhou et al., 2020)		Porcentaje de celulosa	Análisis proximal
Velocidad	Independiente	Magnitud física de carácter vectorial que relaciona el cambio de posición tiempo en el triturado.	Trituración	Velocidades de la licuadora (media o alta)	Características de la licuadora
Tiempo	Independiente	Magnitud física medible	Medición del tiempo de trituración	Escala de 30 segundos a partir de 60 segundos	Cronometro
Películas biodegradables	Dependiente	Tipo de plásticos derivados de productos vegetales		Pruebas físico-químicas y mecánicas	Humedad, Solubilidad, Espesor Ensayo de tracción Biodegradabilidad Microscopía Electrónica de barrido
% celulosa	Independiente	Porción significativa del material a utilizar	Formulación	Peso	Balanza
% plastificante	Independiente	Porción significativa del material a utilizar	Formulación	Peso	Balanza

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.



## 2.6. Matriz de consistencia

**Tabla 8-2:** Matriz de consistencia

<b>TEMA: Obtención de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (<i>Vicia faba</i>) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas.</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>		<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	
¿Se obtendrá una película plástica biodegradable con propiedades necesarias para retrasar el deterioro de frutas y verduras a partir de vainas de haba?		Obtener películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba ( <i>Vicia faba</i> ) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas.	Las películas plásticas biodegradable obtenidas crean una barrera física a los gases, modificando la atmosfera interna de la fruta y verdura a recubrir retrasando el deterioro de frutas y verduras frescas.	
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variables</b>	<b>Técnicas</b>
¿Mediante que metodología se obtendrá la celulosa de vainas de haba para elaborar plástico biodegradable?	Extraer la celulosa por hidrólisis básica y caracterizar	El método de hidrólisis básica será efectivo permitiendo tener un alto rendimiento de extracción de celulosa.	Dependiente: celulosa Independiente: velocidad y tiempo	Análisis proximal Características de la licuadora industrial Espectroscopia infrarroja
¿Cómo se determinará la cantidad de celulosa necesaria para elaborar el plástico biodegradable?	Formular el plástico biodegradable	La cantidad de celulosa y aditivos permite la formación de una película bioplástica	Dependiente: Plástico biodegradable Independiente: % Celulosa % Plastificante	Diseño factorial
¿Cómo se validará el plástico biodegradable obtenido?	Validar las características físico-químicas y mecánicas del bioplástico.	La película plástica biodegradable presenta propiedades similares a los recubrimientos habituales.	Características físico- químicas y mecánicas	Humedad, solubilidad, espesor, ensayo de tracción, biodegradabilidad.

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

## 2.7. Tipo y diseño de investigación

Se realizó una investigación tipo experimental, donde existió la elaboración de ensayos que determinaron la formulación óptima para la obtención de una película plástica biodegradable, se inició con la recolección de la materia prima (vainas de haba) bajo un muestreo aleatorio simple y a medida que avanzó el proceso se controló variables hasta la obtención del producto final, caracterizando la celulosa y la película bioplástica, con el fin de sostener los resultados arrojados por la investigación, además de contribuir con futuros estudios.

La intervención de equipos e instrumentos, permitió recaudar información cuantitativa necesaria para alcanzar el objetivo de la investigación, adicional a esto se complementó mediante el uso de métodos deductivos, estableciendo argumentos y conclusiones lógicas para la evaluación y validación de la película plástica biodegradable obtenida.

Se elaboró también un diseño factorial 2k, para determinar la formulación óptima del bioplástico, las variables del proceso fueron: cantidad de celulosa y plastificante, manteniendo constantes a la concentración de aditivos: 2,5 g de pectina, 4 g de alcohol polivinílico, se controló el tiempo y temperatura de agitación, mezclado y secado de las películas.

La tabla siguiente muestra el diseño experimental realizado en el software Statgraphics19.

**Tabla 9-2:** Variables respuestas a ser medidas

Nombre	Unidades
BIOPLÁSTICO	BP

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 10-2:** Factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A:CELULOSA	Gr	Continuo	Controlable	2,0	4,0	
B:PLASTIFICANTE	Gr	Continuo	Controlable	2,0	3,0	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 11-2:** Diseño experimental

Tipo of Factores	Diseño Tipo	Puntos Centrales Por Bloque	Punto Central Colocación	Diseño es Aleatorizado	Número de Replicaciones	Total Ejecuciones	Total Bloques	Error D.F.
Proceso	Factorial 2 <sup>2</sup>	0	Aleatorio	Sí	2	12	3	6

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

El software arrojó las siguientes formulaciones:

**Tabla 13-2:** Formulaciones de las películas

<i>EJECUCIÓN</i>	<i>BLOQUE</i>	<i>CELULOSA</i> (g)	<i>PLASTIFICANTE</i> (g)
1	1	2,0	3,0
2	1	4,0	2,0
3	1	4,0	3,0
4	1	2,0	2,0
5	2	2,0	3,0
6	2	4,0	2,0
7	2	4,0	3,0
8	2	2,0	2,0
9	3	2,0	3,0
10	3	4,0	2,0
11	3	4,0	3,0
12	3	2,0	2,0

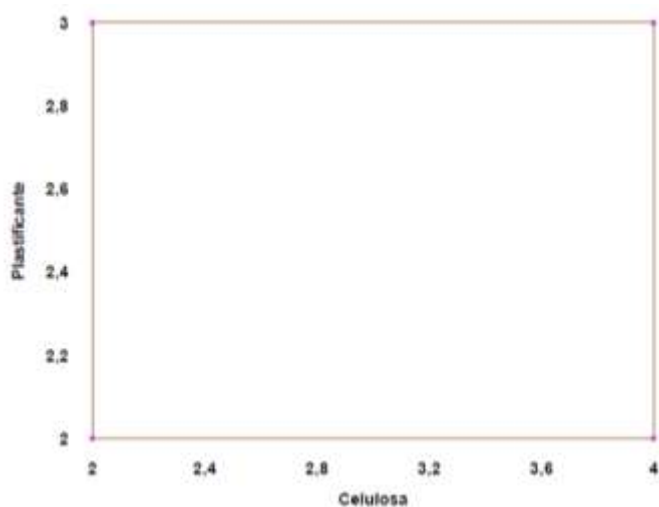
Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

Statgraphics 19, ha especificado 1 variable respuesta (Biolástico) y 2 factores experimentales (celulosa y plastificante). El diseño seleccionado tiene 12 ejecuciones, con 1 una muestra para ser tomada en cada ejecución. El modelo por defecto es: Interacciones de 2 factores con 4 coeficientes (Statgraphics 19, 2021).

**Tabla 13-2:** Resultados del experimento

<i>Factores</i>	<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Efectos excluidos</i>
Proceso	Interacciones de 2 factores	4	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Figura 3-2:** Puntos de diseño

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

## 2.8. Unidad de análisis

El presente estudio requirió de vainas de habas frescas, previamente seleccionadas y limpias.

## 2.9. Población de estudio

La población de estudio corresponde a los agricultores de la provincia de Chimborazo y al GRUPO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO de la ESPOCH (GIADE) ya que se encuentra dentro de la línea de investigación de “Obtención de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas”.

## 2.10. Tamaño de la muestra

Se trabajó con un tamaño de muestra de 4,5 kg de vainas de haba.

## 2.11. Selección de muestra

Se recolectó vainas de haba por muestreo simple aleatorio en los mercados del cantón Riobamba, presentaron características como el tamaño considerable y que sean frescas.

## 2.12. Técnica de recolección de datos

Mediante la revisión de fuente bibliográfica confiable se procedió a elegir las mejores metodologías para la elaboración de películas plásticas biodegradables.

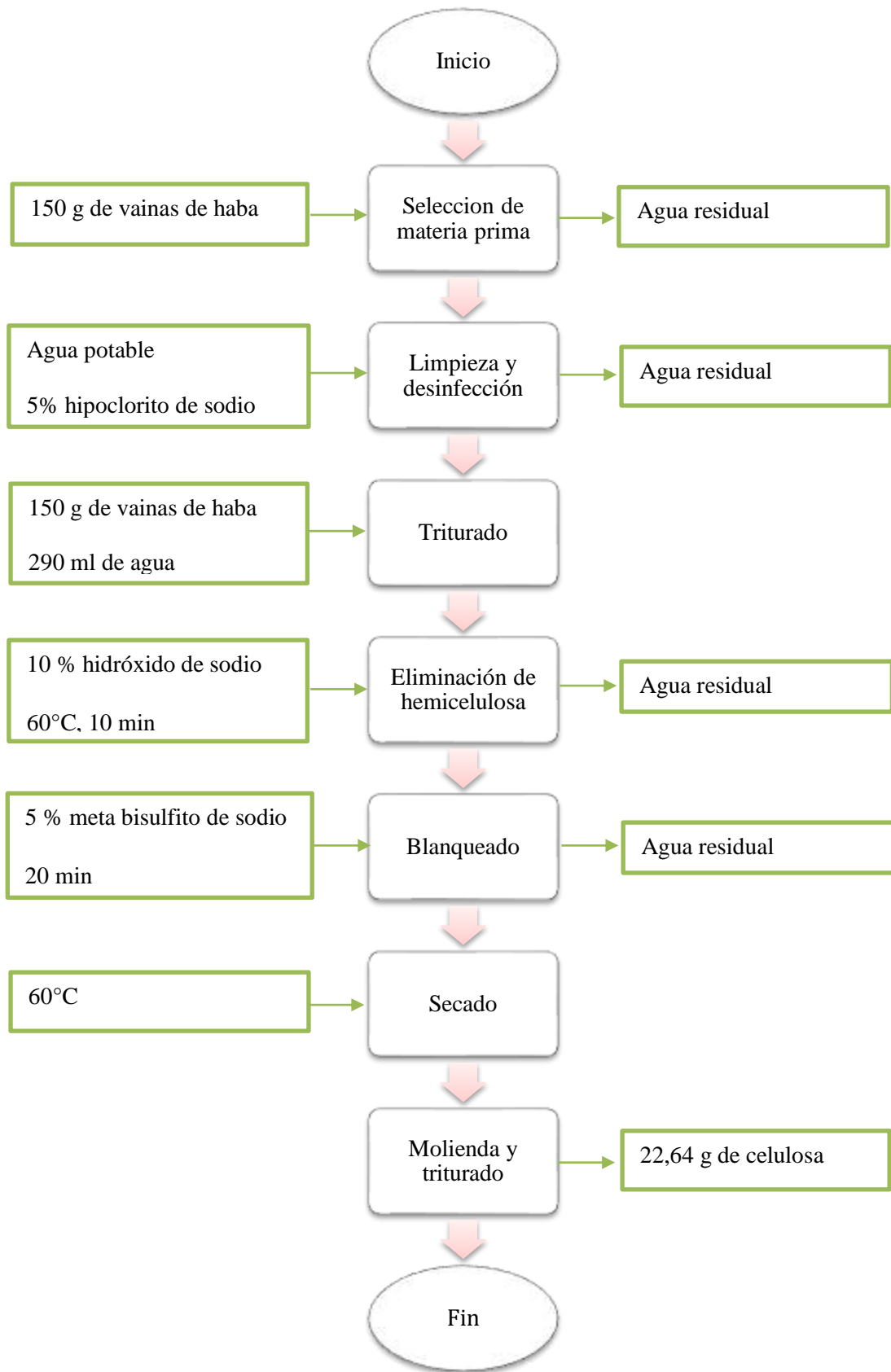
### 2.12.1. Técnica de extracción de celulosa

**Tabla 14-2:** Técnica para la obtención de celulosa

N°	Método	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de Ensayo
1	Hidrolisis básica	<ul style="list-style-type: none"><li>- Licuadora industrial</li><li>- Tamices</li><li>- Molino</li><li>- Agitador magnético</li><li>- Cronómetro</li><li>- Termómetro</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vainas de haba</li><li>- Hipoclorito de sodio al 5%</li><li>- Meta bisulfito de sodio al 5%</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Seleccionar la materia prima, evitar que exista frutos dentro de ella.</li><li>- Retirar impurezas</li><li>- Lavar y desinfectar 150 g de vainas de haba con 5% de hipoclorito de sodio.</li></ul>	Ortega, (2019)

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recipiente de vidrio y plástico</li> <li>- Vaso de precipitación</li> <li>- Balanza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidróxido de sodio al 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Triturar en la licuadora industrial con 1:2 en relación vainas: agua</li> <li>- Incorporar 200 ml de hidróxido de sodio al 10% para eliminar hemicelulosa, lignina, etc.</li> <li>- Calentar a 60°C en una manta de calentamiento, hasta que se dé la primera burbuja, desde ese momento se deja calentar por 10 minutos</li> <li>- Dejar reposar por 20 minutos, enfriar, filtrar y lavar constantemente con agua destilada para retirar el exceso de hidróxido de sodio</li> <li>- Agregar 200 ml de meta bisulfito de sodio al 5 % durante 20 minutos con agitación continua.</li> <li>- Filtrar y lavar constantemente</li> <li>- Secar la muestra a 60°C</li> <li>- Moler y tamizar para tener una muestra uniforme.</li> </ul>	
--	--	---	--	---	--

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Gráfico 1-2:** Diagrama de bloques de obtención de celulosa

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

2.12.1.1. Análisis para realizar la caracterización de celulosa

**Tabla 15-2:** Pruebas para la caracterización de celulosa

Nº	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Fórmula para el Cálculo	Método de Ensayo
1	Espectrometría infrarroja	Espectrómetro IR	Celulosa	Caracterizar las fibras por sus grupos funcionales. Las condiciones fueron: longitud de onda de 4000-500 $\text{cm}^{-1}$ con una resolución de 4 $\text{cm}^{-1}$ .	Medición directa	Cuauhtémoc De Dios et al., 2016
2	Determinación de pH	pH-metro normalizado a 25°C Vaso de precipitación Termómetro	Solución del ensayo de solubilidad	Normalizar el medidor de pH a 25°C, sumergiendo los electrodos en solución tampón de pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura. Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón. Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente. Sumergir los electrodos en la solución que deberán estar a 25°C. Accionar el control de lectura y leer el pH. La muestra deberá encontrarse dentro de los rangos de pH 5,0 y 7,0.	Medición directa	INEN 1456
3	Residuos por calcinación	Crisol de porcelana Campana extractora de gases Desecador	Reactivo analítico	En un crisol de porcelana o de platino, pesar 1g de muestra, calentar hasta ignición bajo la campana extractora de gases. Añadir al material carbonizado 1 mL de ácido sulfúrico R.A (reactivo analítico), el calentamiento debe ser suave, bajo el principio y continuando de tal forma que requiera 1 a 2 horas para carbonizar totalmente la materia orgánica. Calcinar a 800°C±25°C por 15 min, enfriar en el desecador y pesar, este procedimiento se deberá repetir hasta obtener una masa constante. Se debe considerar que la muestra del residuo obtenido no deberá ser mayor a 0,4g/100g.	% <b>Cenizas</b> = P1 /P2 x 100 Porcentaje de ceniza Donde: P1 = Peso de las cenizas (g) P2 = Peso de la muestra inicial (g)	AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 942.05 (2000)

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

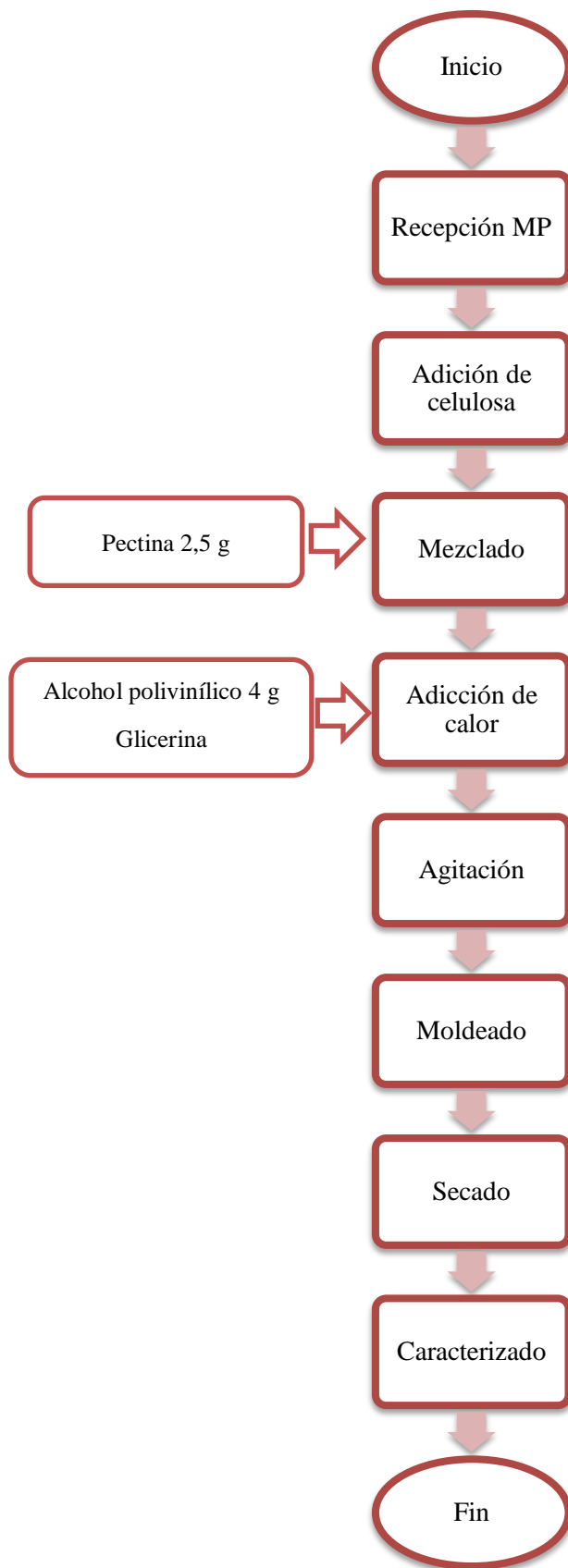
### 2.13. Técnica de obtención de bioplástico

**Tabla 16-2:** Técnica de obtención de plásticos biodegradables

Método	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de Ensayo
Obtención de plástico biodegradable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vasos de precipitación de 250 ml</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Probetas de 250ml y 50ml</li> <li>- Espátula</li> <li>- Vidrio de reloj</li> <li>- Cronómetro</li> <li>- Baño maría a 100°C</li> <li>- Estufa</li> <li>- Agitador magnético</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Reverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Celulosa</li> <li>- Glicerina</li> <li>- Alcohol polivinílico</li> <li>- Pectina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disolver en un vaso de precipitación a 23 °C la celulosa y 2,5 g de pectina.</li> <li>- Agitar hasta que ya no exista grumos.</li> <li>- Homogenizar mediante la ayuda de un agitador magnético a 600 rpm durante 10 minutos a 75°C.</li> <li>- Adicionar el 4 g alcohol polivinílico, seguir agitando.</li> <li>- Agregar la glicerina y mantener aproximadamente 10 minutos, en hervor, agitando continuamente, hasta que la mezcla quede viscosa. En caso de que se seque la mezcla adicionar poco a poco agua destilada.</li> <li>- Verter la mezcla en cajas Petri.</li> <li>- Secar a una temperatura ambiente hasta observar la formación.</li> <li>- Se preparará cuatro diferentes formulaciones variando la concentración de celulosa y plastificante, cada una será expuesta a una temperatura constante.</li> </ul>	Alata et al., (2019), con modificaciones de Arévalo, (2010)

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.





**Gráfico 2-2:** Diagrama de bloque del proceso de elaboración de plástico biodegradable

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 17-2:** Ensayos para caracterizar la película bioplástica obtenida

Análisis	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo
Espesor	Calibrador Biopelícula Cúter	Película plástica	Con un calibrador, con resolución de 0,002 cm, medir el grosor de la biopelícula.	Laboratorio tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC-33
Solubilidad	Vaso de precipitación Probetas Papel filtro Balanza analítica	Agua destilada Película plástica	Las muestras se colocan en un vaso de precipitación de 100 ml con 80 ml de agua destilada. Se lleva a agitación de 100 rpm durante 1 hora. Filtrar y se procede a colocar en una estufa a 40°C hasta que no queden residuos en el agua.	Laboratorio tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC-33
Propiedades mecánicas	Máquina universal de ensayos-WAW600B	Película plástica	Es una máquina de prueba tipo velocidad constante de movimiento de cruceta que comprende una parte fija que lleva una mordaza y una parte móvil que lleva una segunda mordaza.	NTE INEN 2635:012
Biodegradabilidad	Recipientes herméticos Biofilms a ensayar	Tierra orgánica. Película plástica	Cortar el biofilm en láminas de 3cm x 3cm. Colocarlas en tierra orgánica a 12 cm de la superficie y mantener en un ambiente húmedo. Revisar cada 7 días	NTE INEN 2643 Especificaciones para plásticos compostables

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Datos obtenidos en los ensayos realizados

Para determinar la cantidad de materia prima necesaria para el proceso, se recolecto al azar 10 vainas de haba y se tomó su longitud y ancho. Así mismo se realizó una prueba organoléptica resaltando características como color, sabor y textura.



**Figura 1-3:** Vainas de haba

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 1-3:** Características físicas de las vainas de haba

No.	VAINAS DE HABA		
	PESO (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)
1	0,287	7,100	2,300
2	0,238	5,800	2,100
3	0,279	6,800	2,600
4	0,340	8,300	2,400
5	0,303	7,400	1,900
6	0,242	5,900	1,400
7	0,279	6,800	2,200
8	0,316	7,700	2,100
9	0,267	6,500	2,800
10	0,344	8,400	2,600

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 2 -3:** Características organolépticas de las vainas de haba

<b>PRODUCTO: Vainas de Haba</b>	
Característica	
Olor	Característico
Sabor	Amargo
Color	Verde
Textura interna	Suave
Textura externa	Suave

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.1. Ensayos preliminares para la obtención de celulosa

#### 3.1.1.1. Datos para el proceso de extracción de celulosa

Para la recolección de datos en el rendimiento de extracción de la celulosa se obtuvo 6 tratamientos y 5 repeticiones con el fin de obtener datos confiables para la investigación.

**Tabla 3-3:** Datos obtenidos en la extracción de la celulosa

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	PESO (g)	
				VAINAS DE HABA	CELULOSA
				PESO INICIAL	PESO FINAL
1	T1	V media:60 s	R1	150	22,640
2			R2		22,610
3			R3		20,700
4			R4		19,500
5			R5		19,420
6	T2	V media:90 s	R1		20,170
7			R2		22,680
8			R3		20,250
9			R4		20,350
10			R5		22,090
11	T3	V media:120 s	R1		19,960
12			R2		19,330
13			R3		25,000
14			R4		20,030
15			R5		19,000
16	T4	V alta :60 s	R1		18,610
17			R2		19,550
18			R3		12,250
19			R4		15,000
20			R5		19,150
21	T5	V alta:90 s	R1		19,500
22			R2		22,000
23			R3		29,730
24			R4		22,360
25			R5		21,470
26	T6	V alta:120 s	R1		18,870
27			R2		28,980
28			R3		25,320
29			R4		30,080
30			R5		28,070

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.2. Datos para determinar las propiedades físico-mecánicas y biodegradabilidad

#### 3.1.2.1. Datos para determinar el espesor

**Tabla 4-3:** Datos del ensayo de determinación de espesor

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	ESPESOR 1 (cm)	ESPESOR 2 (cm)	ESPESOR 3 (cm)	ESPESOR 4 (cm)	ESPESOR 5 (cm)
TP1	R1	0,200	0,300	0,200	0,300	0,300
	R2	0,300	0,300	0,300	0,200	0,200
	R3	0,300	0,400	0,300	0,300	0,200
TP2	R1	0,300	0,500	0,300	0,400	0,400
	R2	0,200	0,400	0,300	0,300	0,400
	R3	0,300	0,600	0,500	0,300	0,500
TP3	R1	0,500	0,500	0,400	0,600	0,600
	R2	0,500	0,400	0,400	0,500	0,400
	R3	0,500	0,600	0,600	0,600	0,500
TP4	R1	0,600	0,500	0,400	0,400	0,600
	R2	0,500	0,500	0,600	0,500	0,400
	R3	0,500	0,400	0,500	0,400	0,400

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

#### 3.1.2.2. Datos para determinar la humedad

**Tabla 5-3:** Datos recolectados del ensayo de humedad

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)
TP1	R1	6,851	6,819
	R2	6,839	6,808
	R3	6,168	6,135
TP2	R1	8,114	8,056
	R2	8,097	8,046
	R3	7,981	7,927
TP3	R1	8,021	7,993
	R2	8,007	7,980
	R3	6,465	6,438
TP4	R1	6,971	6,924
	R2	6,921	6,877
	R3	6,887	6,847

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.2.3. Datos para determinar solubilidad

**Tabla 6-3:** Datos recolectados en el ensayo de solubilidad

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)
TP1	R1	0,150	0,062
	R2	0,137	0,058
	R3	0,147	0,064
TP2	R1	0,269	0,132
	R2	0,372	0,210
	R3	0,325	0,170
TP3	R1	0,059	0,021
	R2	0,053	0,021
	R3	0,076	0,022
TP4	R1	0,060	0,028
	R2	0,057	0,023
	R3	0,054	0,025

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.2.4. Datos para determinar la permeabilidad

**Tabla 7-3:** Datos recolectados en el ensayo de permeabilidad

TRATAMIENTO	REPETICIONES	PESO INICIAL (g)	TIEMPO 1 (h)	PESO FINAL (g)	TIEMPO 2 (h)	AREA (m <sup>2</sup> )	ESPESOR (mm)
TP1	R1	30,103	0,000	30,112	6,000	0,081	0,200
	R2	30,123	0,000	30,134	6,000	0,083	0,300
	R3	29,187	0,000	29,206	6,000	0,094	0,300
TP2	R1	30,492	0,000	30,523	6,000	0,085	0,300
	R2	30,136	0,000	30,151	6,000	0,099	0,200
	R3	31,183	0,000	31,201	6,000	0,092	0,200
TP3	R1	30,137	0,000	30,148	6,000	0,098	0,300
	R2	29,134	0,000	29,144	6,000	0,091	0,400
	R3	30,178	0,000	30,191	6,000	0,095	0,300
TP4	R1	33,154	0,000	33,175	6,000	0,099	0,400
	R2	31,147	0,000	31,161	6,000	0,089	0,300
	R3	30,209	0,000	30,227	6,000	0,094	0,300

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.2.5. Datos para determinar las pruebas mecánicas

**Tabla 8-3:** Datos recolectados en el ensayo de tracción

TR AT AM IEN TO	RE PE TIC IÓ N	FUER ZA(N )	AREA cm <sup>2</sup>			Medida Inicial Probeta	ELONGACION CON MEDIDOR (m)		
			ANCHO (cm)	calibre (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )		Medidor Inicial	Medidor Final	Deformación del Medidor
TP1	R1	4,100	1,500	0,010	0,015	0,030	0,276	0,289	0,013
	R2	4,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,278	0,297	0,019
	R3	3,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,279	0,301	0,022
TP2	R1	4,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,274	0,323	0,049
	R2	4,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,277	0,315	0,038
	R3	3,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,273	0,325	0,052
TP3	R1	6,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,277	0,285	0,008
	R2	13,700	1,500	0,010	0,015	0,030	0,272	0,284	0,012
	R3	9,800	1,500	0,010	0,015	0,030	0,277	0,286	0,009
TP4	R1	6,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,276	0,285	0,009
	R2	3,900	1,500	0,010	0,015	0,030	0,283	0,290	0,007
	R3	2,000	1,500	0,010	0,015	0,030	0,278	0,288	0,010

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.1.2.6. Datos para determinar la biodegradabilidad

Para el ensayo de biodegradabilidad, se lo realizó en el software ImageJ, donde calculó el área de las películas bioplásticas que previamente fueron recortadas en cuadrados de 3 x 3 centímetros, tal como se muestra en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Datos recolectados para la biodegradabilidad

BIODEGRADABILIDAD (cm <sup>2</sup> )												
AGUA												
TRATAMIENTO	TP1			TP2			TP3			TP4		
REPETICIÓN	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
INICIO	9,058	8,681	9,068	8,82	9,174	8,828	8,827	8,789	8,704	8,676	8,429	8,750
10 días	8,543	8,012	8,432	8,231	8,597	8,102	8,321	8,122	8,496	7,985	7,876	7,922
20 días	8,001	7,654	8,123	7,981	7,364	7,482	8,109	7,931	8,032	6,437	6,743	6,432
30 días	7,752	7,281	7,720	6,876	7,159	6,913	7,943	7,654	7,743	5,765	6,098	6,129
AMBIENTE												
INICIO	8,820	8,443	9,038	9,117	8,905	8,368	8,153	8,684	8,757	8,428	8,933	8,586
10 días	8,558	8,185	8,670	8,723	8,420	8,039	7,866	8,475	8,539	8,243	8,688	8,299

<b>20 días</b>	8,285	7,899	8,302	8,309	8,002	7,711	7,578	8,256	8,254	7,996	8,434	8,008
<b>30 días</b>	8,034	7,685	8,252	7,934	7,451	7,682	7,552	8,058	8,091	7,825	8,197	7,725
<b>SUELO</b>												
<b>INICIO</b>	8,858	9,420	8,646	9,149	9,007	8,834	8,220	9,025	8,518	8,830	8,623	8,847
<b>6 días</b>	8,546	9,254	7,341	8,364	8,839	7,980	7,533	8,611	7,944	7,275	7,333	7,429
<b>12 días</b>	7,543	9,214	6,514	7,968	7,779	7,843	7,213	8,235	6,975	6,421	6,923	6,643
<b>18 días</b>	7,134	8,408	6,508	7,100	6,605	7,539	7,125	8,003	6,925	6,375	6,044	6,011
<b>24 días</b>	6,725	8,314	6,364	7,007	6,398	6,892	6,885	7,554	6,486	5,887	5,766	5,721
<b>30 días</b>	6,440	7,938	5,914	6,786	6,078	6,851	6,823	7,395	6,492	5,854	5,600	5,226

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

### 3.2. Cálculos

#### 3.2.1. Cálculos para determinar el rendimiento de extracción

La ecuación 1-3, determina el rendimiento de la repetición 1, del tratamiento T1.

Ecuación 1-3:

$$\%R1 = \frac{\text{peso de la celulosa obtenida (g)}}{\text{peso de las vainas de haba que ingresaron al proceso (g)}} * 100$$

$$\%R1 = \frac{22,640}{150} * 100$$

$$\%R1 = 15,09$$

Se determinó la media de las repeticiones por tratamientos.

#### 3.2.2. Cálculos para determinar la humedad

Para determinar el porcentaje de humedad que contiene la película plástica biodegradable se utilizó la siguiente formula:

Ecuación 2-3:

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

**H:** Humedad (%)

**P<sub>1</sub>:** Peso inicial seco de la película (g)



**P<sub>2</sub>**: Peso final seco de la película (g)

Humedad en la R1, TP1:

$$\%H_{R1} = \frac{6,851 - 6,819}{6,851} * 100$$

$$\%H_{R1} = 0,467$$

Se determinó la media entre repeticiones, repitiendo este procedimiento para todos los tratamientos.

### 3.2.3. Cálculos para determinar la solubilidad

Ecuación 3-3:

$$\%S = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

**P<sub>1</sub>**: Peso inicial seco de la película (g)

**P<sub>2</sub>**: Peso final seco de la película (g)

$$\%S = \frac{0,150 - 0,062}{0,150} * 100$$

$$\%S = 58,427$$

### 3.2.4. Cálculos para determinar la permeabilidad

La ecuación 3-4 pertenece a la transmisión de vapor de agua en las películas, se determinó para cada repetición y después se procedió a sacar la media para cada tratamiento.

Ecuación 4-3:

$$TVA_{\varepsilon} = \frac{P_f - P_o}{t * A} * \varepsilon$$

Donde:

**TVA  $\varepsilon$** : TVA específico ( $\frac{mm \ g}{m^2 \ h}$ )

**P<sub>f</sub>**: Peso final de la película (g)

**P<sub>o</sub>**: Peso inicial de la película (g)

**t:** Tiempo entre lecturas (h)

**A:** Área de las muestras de ensayo (m<sup>2</sup>)

**ε:** Espesores de las biopelículas (mm)

$$TVA_{\varepsilon} = \frac{30,112 - 30,103}{6 * 0,081} * 0,200$$

$$TVA_{\varepsilon} = 3,498E - 03 \frac{mm \ g}{m^2 \ h}$$

### 3.2.5. Cálculos para determinar la biodegradabilidad

La ecuación 5-3 cuantifica la pérdida de peso de la película plástica en condiciones anaerobias y aerobias, se calculó el área para cada repetición y se procedió a determinar la media por cada tratamiento.

$$\text{Ecuación 5-3: } \%Pp = \frac{A_1 - A_2}{A_1} * 100$$

Donde:

**Pp:** Pérdida de peso

**A<sub>1</sub>:** Área inicial de la película (cm)

**A<sub>2</sub>:** Área final de la película (cm)

Biodegradabilidad en el tratamiento TP1, repetición R1:

$$\%Pp = \frac{9,058 - 7,752}{9,058} * 100$$

$$\%Pp = 14,418$$

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Caracterización de la celulosa

##### 3.3.1.1. Análisis organolépticos

La siguiente tabla especifica las características organolépticas más importantes de la celulosa:

**Tabla 10-3:** Características organolépticas de la celulosa

CELULOSA	
Característica	
Olor	Característico
Sabor	Sin sabor
Color	Verde claro
Textura	Grumosa



Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

##### 3.3.1.2. Análisis físico-químicos

**Tabla 11-3:** Parámetros físico-químicos de la celulosa

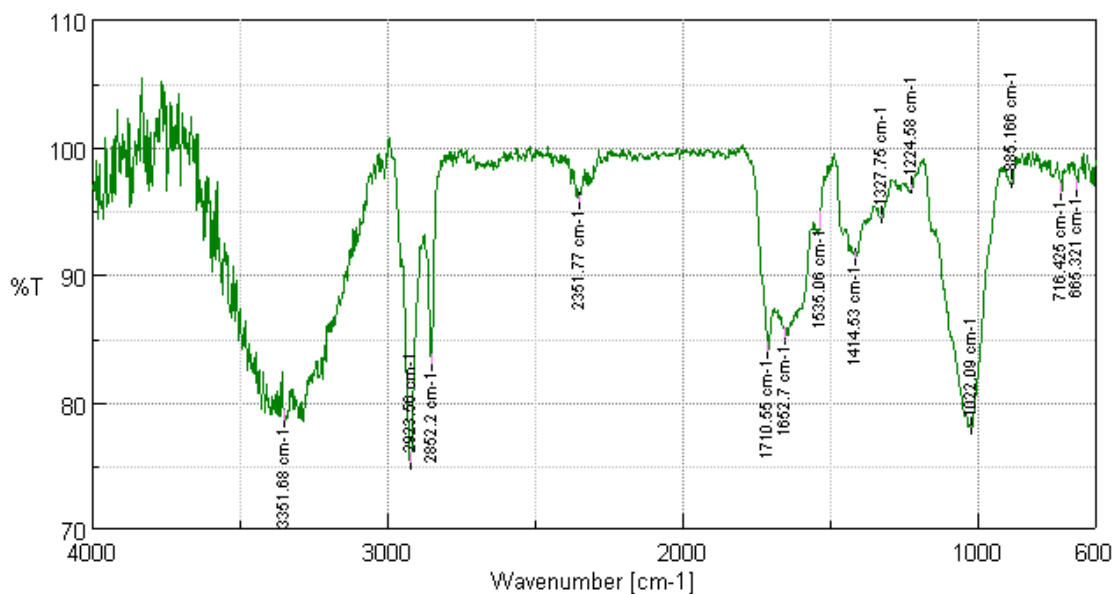
No.	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	NORMA / INSTITUCIÓN
1	Humedad	%	4,64	Gravimétrico
2	Ceniza		5,82	Gravimétrico
3	Solubilidad	%	14,97	Anderson
4	pH		6,20	Potenciómetro
5	Fibra	%	36,32	Gravimétrico
6	Proteína	%	0,52	AOAC 954-01
7	Temperatura de gelatinización	°C	no gelatiniza	Grace
8	Levaduras y mohos	UPC/g	400	Siembra en masa
9	Coliformes totales	UPC/g	120	Siembra en masa

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

Varios autores reportaron únicamente el porcentaje de humedad, Ortiz (2020) obtuvo 3,58% comparando con los resultados obtenidos se tiene un valor de 4,64% resultados bastante similares se dice que es un producto de baja humedad. Por otra parte, se observó que la muestra no gelatinizó, debido a que la gelatinización es una propiedad característica de los almidones.

### 3.3.1.3. Análisis de espectro infrarrojo

El espectro infrarrojo se lo realizó en el laboratorio de química instrumental de la ESPOCH, donde se obtuvo en condiciones de longitud de onda de 4000-599,75  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  las siguientes lecturas.



**Figura 2-3:** Espectro infrarrojo de la celulosa a partir de vainas de haba

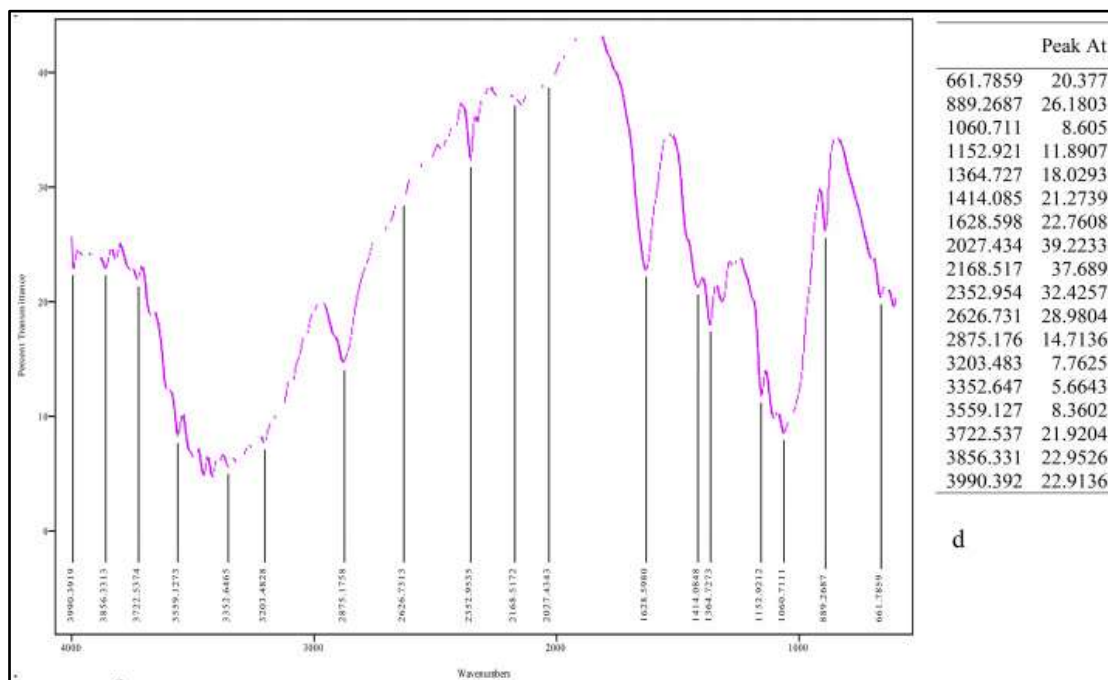
Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 12-3:** Lecturas y observaciones del espectro infrarrojo

LONGITUD DE ONDA [ $\text{cm}^{-1}$ ]	%T	GRUPO FUNCIONAL	OBSERVACIONES
3351,680	78,603	O-H	Alargamiento
2923,560	75,229	CH <sub>2</sub>	Estiramiento asimétrico
2852,200	83,022	C-H	Estiramiento
2351,770	95,747	C=C	Estiramiento
1710,550	83,994	C=O	Estiramiento
1652,700	85,067	C-C	Alargamiento
1535,060	94,155	C-O	Alargamiento
1414,530	91,374	C-O	Alargamiento
1327,750	94,672	C-O	Alargamiento
1224,580	96,984	C-O	Alargamiento
1022,090	77,977	C-O	Alargamiento
885,1660	97,356	C-O	Alargamiento
716,4250	96,425	C-O-C	Alargamiento
665,3210	96,721	CH <sub>2</sub>	Alargamiento

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

Bamgbola et al. (2020) en su estudio “Aislamiento y caracterización de celulosa de cáscaras de nuez de anacardo (*Anacardium occidentale* L.)” determinaron el siguiente espectro:



**Figura 3-3:** Espectro infrarrojo de aislado de celulosa a partir de cáscaras de nuez

**Fuente:** (Bamgbola et al., 2020, p.34).

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

En la figura 3-3 se observó regiones de absorción en curvas de alto número de onda (2800-3400  $\text{cm}^{-1}$ ) y bajo número de onda (600-1750  $\text{cm}^{-1}$ ), se observaron regiones de absorción similares al espectro de celulosa a partir de vainas de haba. La intensidad de vibración observada a 661,78  $\text{cm}^{-1}$  para la figura 3-3 es bastante parecido a 665,32  $\text{cm}^{-1}$  observada en la figura 2-3. Schwanninger et al (2004) y Bamgbola et al (2020) mencionan que los picos de vibración en este nivel se deben al  $\text{CH}_2$  vibración oscilante en celulosa, recalcan también que “la celulosa contiene dominios cristalinos polimórficos que se caracterizan por su origen y tipo de sustancia química utilizada para tratar las muestras” (Bamgbola et al., 2020, p.34). Las bandas detectadas a 1060,71 y 1022,09  $\text{cm}^{-1}$  podrían señalarse como vibraciones de estiramiento de C–O de epoxi y alcoxi, respectivamente. Así mismo las bandas detectadas en 1628,59 y 1535,06  $\text{cm}^{-1}$  se deben a un fuerte estiramiento de C=C de cetona  $\alpha$ ,  $\beta$ -insaturada (Mandal et al., 2011), bandas reportadas por Mandal et al (2011) a 1645  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la vibración O – H del agua absorbida debido a los grupos hidroxilo en la celulosa para la planta de caña de azúcar, similar a la banda que se aprecia en la figura 2-3 a 1652,70  $\text{cm}^{-1}$ . El pico a 1710,55  $\text{cm}^{-1}$  refleja la presencia del grupo carbonilo (C=O) en la hemicelulosa y la lignina, esto quiere decir el método de hidrólisis básica y blanqueo utilizados en esta investigación no eliminaron en su totalidad la lignina y hemicelulosa que poseen en su estructura. Por otra parte, las bandas de picos a 1419,35  $\text{cm}^{-1}$  y 1414,53  $\text{cm}^{-1}$  se reportan como vibraciones esqueléticas aromáticas de lignina. Sin embargo, los picos de banda de 3352,647  $\text{cm}^{-1}$  y 3351,68  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 3-3 y 2-3 respectivamente se atribuyen a las vibraciones de estiramiento de los grupos C–H de celulosa y las vibraciones de estiramiento O–H de los

grupos hidroxilo unidos por enlaces de hidrógeno en las moléculas de celulosa (Bamgbola et al., 2020, p.34).

### 3.3.1.4. Resultados de rendimientos de extracción de celulosa

**Tabla 13-3:** Rendimientos de la extracción de celulosa

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	RENDIMIENTO (%)	
		R	MEDIA
T1	R1	15,090	13,980
	R2	15,070	
	R3	13,800	
	R4	13,000	
	R5	12,950	
T2	R1	13,450	14,070
	R2	15,120	
	R3	13,500	
	R4	13,570	
	R5	14,730	
T3	R1	13,310	13,780
	R2	12,890	
	R3	16,670	
	R4	13,350	
	R5	12,670	
T4	R1	12,410	11,270
	R2	13,030	
	R3	8,170	
	R4	10,000	
	R5	12,770	
T5	R1	13,000	15,340
	R2	14,670	
	R3	19,820	
	R4	14,910	
	R5	14,310	
T6	R1	12,580	17,510
	R2	19,320	
	R3	16,880	
	R4	20,050	
	R5	18,710	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

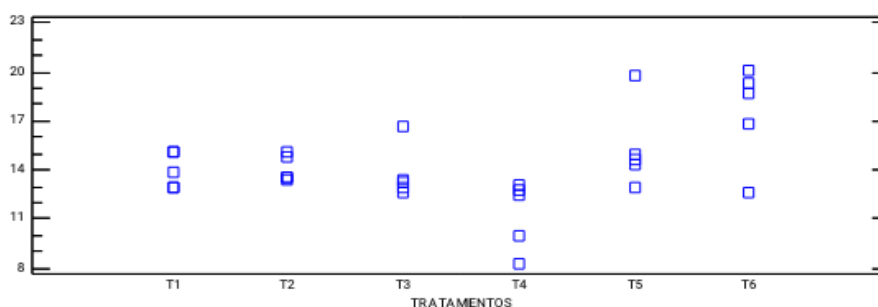
### 3.3.1.5. Resumen estadístico de la extracción de celulosa

Se realizó un análisis estadístico en el programa Statgraphics 19, el cual desarrollo un ANOVA simple, para seis tratamientos con cinco repeticiones, la siguiente tabla detalla un resumen de datos estadísticos sobre rendimiento de extracción de celulosa (Statgraphics 19, 2021).

**Tabla 14-3:** Resumen estadístico para rendimiento de extracción de celulosa

TRATAMIENTOS	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo estandarizado
T1	5,000	13,982	1,057	7,563%	12,950	15,090	2,140	0,191
T2	5,000	14,074	0,790	5,614%	13,450	15,120	1,670	0,668
T3	5,000	13,778	1,641	11,916%	12,670	16,670	4,000	1,886
T4	5,000	11,276	2,113	18,744%	8,170	13,030	4,860	-0,880
T5	5,000	15,342	2,609	17,009%	13,000	19,820	6,820	1,615
T6	5,000	17,508	2,994	17,103%	12,580	20,050	7,470	-1,357
Total	30,000	14,326	2,648	18,487%	8,170	20,050	11,880	1,075

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Figura 4-3:** Dispersión por código de nivel por tratamientos

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

La figura 4-3 manifiesta una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande.

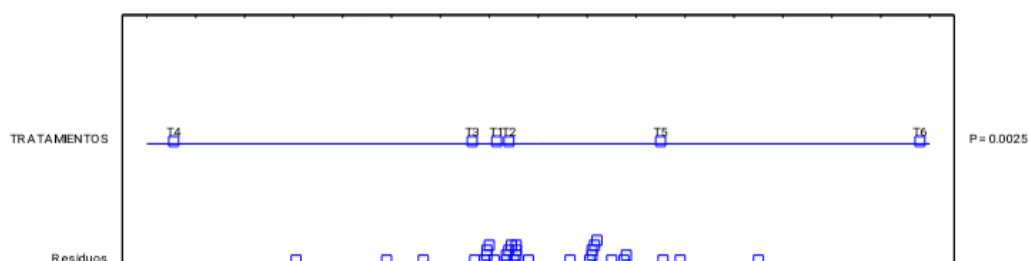
La tabla 15-3 indica como el análisis de varianza se descompone en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos.

**Tabla 15-3:** ANOVA para el rendimiento de extracción de celulosa por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	104,710	5	20,942	5,090	0,0025
Intra grupos	98,733	24	4,114		
Total (Corr.)	203,443	29			

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

La razón-F, que en este caso es igual a 5,09, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento de extracción de celulosa entre una repetición de tratamientos y otro, con un nivel del 95,0% de confianza, tal como se observa en la figura 5-3.



**Figura 5-3:** ANOVA para el rendimiento de extracción

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

Como se evidenció en la tabla 14-3, el mejor rendimiento es 17,50% perteneciente al tratamiento T6 bajo condiciones de velocidad alta a 120 segundos. Los rendimientos de los tratamientos T1, T2 y T3 a velocidad media se mantienen bastante similares, se podría deducir que el tiempo de trituración no afecta de manera significativa el proceso, mientras que para T4, T5 y T6 a velocidad alta, la variable de respuesta se ve influenciada de manera directa con el tiempo, es decir, entre más velocidad y mayor sea tiempo de trituración, mayor será su rendimiento. Autores como López et al. (2012), reportaron un rendimiento del 34% en celulosa a partir de paja de caña de azúcar, Ortega (2019) 42,06% en paja de arroz, Herrera (2018) 73,28% en puntas de abacá, todos ellos son mayores en comparación al dato obtenido en la presente investigación, esto pudo suceder debido a la fuente de materia prima, ya que presentan mayor contenido de celulosa en su estructura, sin embargo, Ortiz (2020) obtuvo un rendimiento del 16,35% en vainas de haba con metodología similar, valor más acorde a lo reportado, se predice que la metodología utilizada es adecuada para extraer celulosa a partir de vainas de haba.

### 3.3.2. Resultados de las pruebas físico-mecánicas y biodegradabilidad

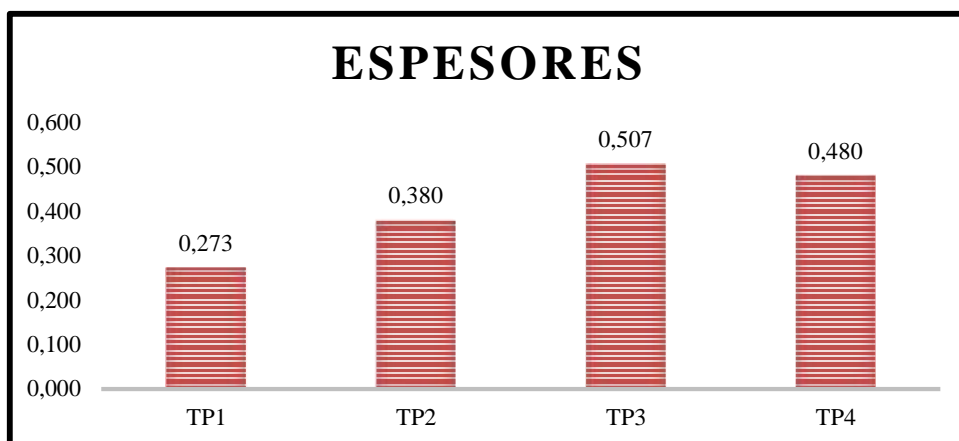
#### 3.3.2.1. Espesor

**Tabla 16-3:** Espesores medios por tratamiento

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	ESPESOR (cm)	MEDIA (cm)
TP1	R1	0,260	0,273
	R2	0,260	
	R3	0,300	
TP2	R1	0,380	0,380
	R2	0,320	
	R3	0,440	
TP3	R1	0,520	0,507
	R2	0,440	
	R3	0,560	
TP4	R1	0,500	0,480
	R2	0,500	
	R3	0,440	

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.





**Gráfico 1-3:** Espesores medios por tratamiento

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

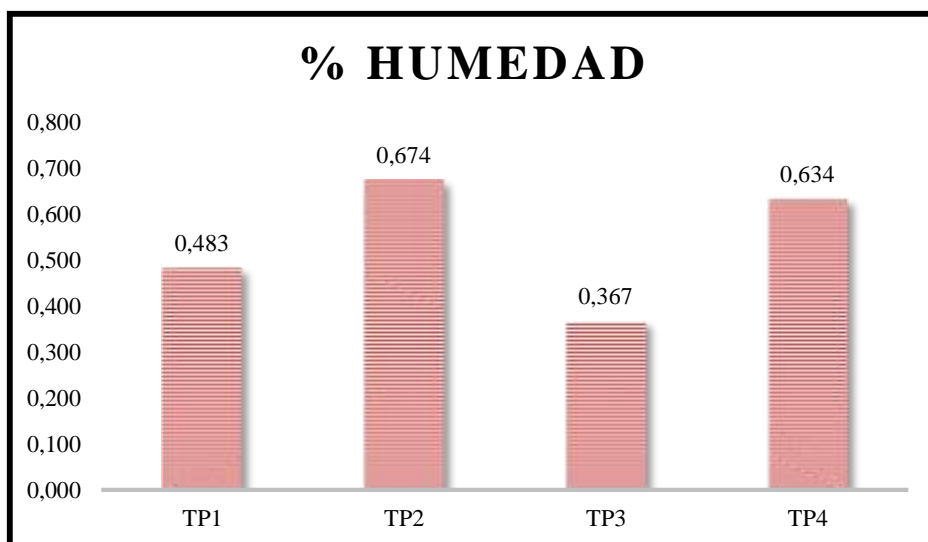
En el gráfico 1-3 se observó que el tratamiento TP3 (4 g de celulosa, 2 g de plastificante) posee mayor espesor medio de 0,507 mm. Se observa también que el espesor está vinculado a las variables de concentración de celulosa y plastificante, a menor contenido de celulosa menor será el espesor de la película. Galeano (2007) menciona que el espesor afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad al vapor de agua. La NTE INEN 2635 establece que el espesor no debe superar el 0,001 m en comparación a los resultados obtenidos, se estableció que se encuentra dentro de los límites permitidos.

### 3.3.2.2. Humedad

**Tabla 17-3:** Humedades medias por tratamientos

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	HUMEDAD (%)	MEDIA (%)
TP1	R1	0,467	0,483
	R2	0,447	
	R3	0,535	
TP2	R1	0,715	0,674
	R2	0,630	
	R3	0,677	
TP3	R1	0,352	0,367
	R2	0,337	
	R3	0,413	
TP4	R1	0,670	0,634
	R2	0,643	
	R3	0,588	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Gráfico 2-3:** Humedad media por tratamientos

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021.

El gráfico 2-3, indica los porcentajes de humedad correspondiente a cada tratamiento ejecutado, se puede observar que todos los valores se encuentran por debajo del 1%, esto puede darse a que la existencia de celulosa influye en la reducción de absorción de humedad en el bioplástico, según Agustín et al, (2014) mencionan que esto se produce porque los enlaces de hidrógeno dentro del material compuesto evitan la formación de huecos por donde pueden pasar las moléculas de agua (Agustín et al., 2014, p. 26).

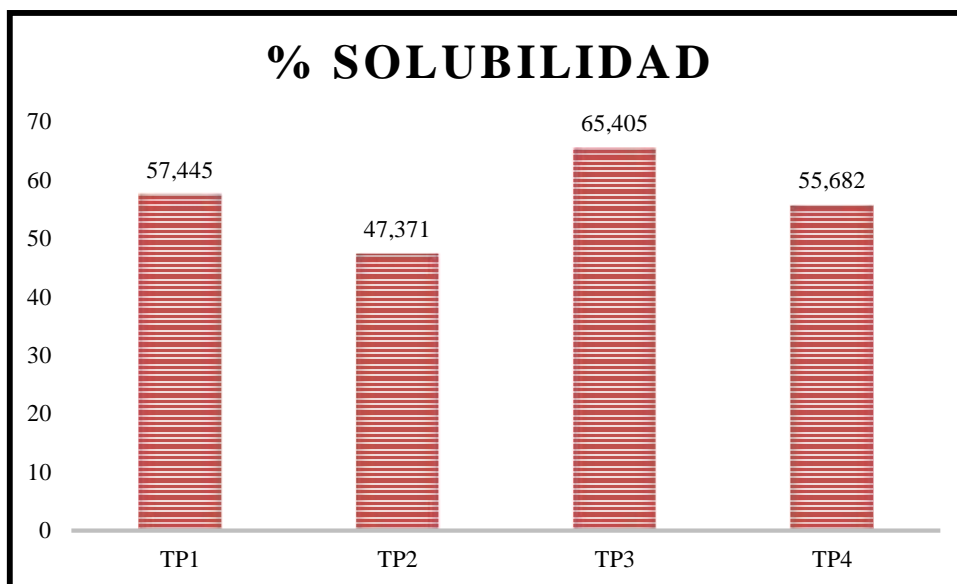
De acuerdo a lo establecido anteriormente se tiene que el tratamiento TP2 (2 g de celulosa, 3 g de plastificante) contiene mayor humedad con el 0,674 %, mientras que el tratamiento TP3 (4 g de celulosa, 2 g de plastificante) presentó menor porcentaje de 0,367 %, el análisis refleja como la concentración de celulosa es indirectamente proporcional a la variable respuesta (Humedad %), a mayor contenido de celulosa, menor humedad, por otra parte, la variable glicerina posee un efecto contrario, ya que a menor contenido de glicerina, la película plástica presentará menor humedad, al comparar estos resultados con otros autores, tenemos a Siti Nuurul et al (2020), quienes encontraron el 20,89% de humedad en cascarilla de cacao más fibra del bagazo de caña, aunque la fibra del bagazo de caña ayuda a controlar la humedad en la biopelícula sigue siendo un valor bastante lejano a los resultados obtenidos en esta investigación, sin embargo, Jiménez (2017) presento 2,34% en bioplásticos a partir de celulosa de *Musa acuminata* AAA, resultado más acorde a los valores obtenidos, la importancia de una humedad baja ayuda al bioplástico a reducir la posibilidad de crecimiento de moho que podría afectar la apariencia del bioplástico y las propiedades mecánicas ya que por el contrario un alto contenido de humedad promueve la actividad metabólica más rápida de los microorganismos (Borah et al., 2019, p.12). Aunque el tratamiento TP3 presenta menor % de humedad, todos los tratamientos son adecuados para ser aplicados como materiales de recubrimiento de alimentos.

### 3.3.2.3. Solubilidad

**Tabla 18-3:** Solubilidad media por tratamientos

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	SOLUBILIDAD (%)	MEDIA (%)
TP1	R1	58,427	57,445
	R2	57,730	
	R3	56,177	
TP2	R1	50,929	47,317
	R2	43,602	
	R3	47,581	
TP3	R1	64,407	65,405
	R2	60,755	
	R3	71,053	
TP4	R1	53,333	55,682
	R2	59,825	
	R3	53,889	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Gráfico 3-3:** Solubilidad media por tratamientos

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021

El gráfico 3-3 indica los porcentajes de solubilidad donde se observa que el tratamiento TP3 (4 g de celulosa, 2 g de plastificante) presenta una mayor solubilidad con 65,405% y el tratamiento TP2 con menor porcentaje 47,371% (2 g de celulosa, 3 g de plastificante), se observó que a mayor cantidad de celulosa, mayor es la solubilidad de la película plástica, mientras que, a menor contenido de glicerina, más soluble se vuelve la biopelícula, en comparación con otros autores se observa que Parra (2020) encontró el 68% de solubilidad en películas a base de zanahoria blanca

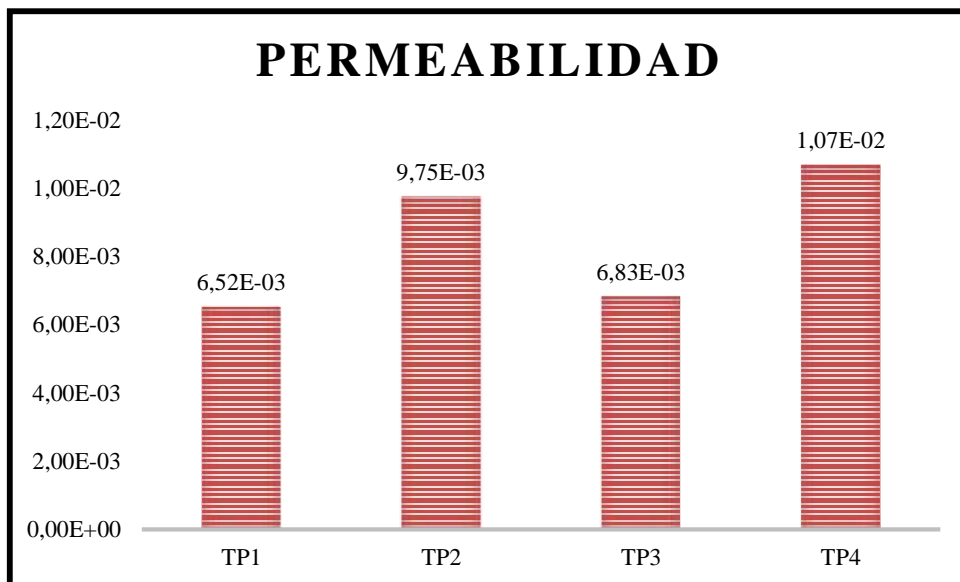
y el 61% en camote, datos similares a los reportados en este estudio, destaca también que un recubrimiento alimentario debe presentar un valor menor al 70 % (Parra, 2020, p.56).

### 3.3.2.4. Permeabilidad

**Tabla 19-3:** Permeabilidad media por tratamiento

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PERMEABILIDAD ( $\frac{mm\ g}{m^2\ h}$ )	MEDIA ( $\frac{mm\ g}{m^2\ h}$ )
TP1	R1	58,427	6,52E-03
	R2	57,730	
	R3	56,177	
TP2	R1	50,929	9,75E-03
	R2	43,602	
	R3	47,581	
TP3	R1	64,407	6,83E-03
	R2	60,755	
	R3	71,053	
TP4	R1	53,333	1,07E-02
	R2	59,825	
	R3	53,889	

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Gráfico 4-3:** Permeabilidad media por tratamientos

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

El gráfico 4-3 evidenció que la celulosa no afecta en la permeabilidad, por otro lado, a mayor concentración de glicerina, existe una mayor permeabilidad, el gráfico indica que el tratamiento TP4 presentó mayor permeabilidad en la película ( $1,07E-2 \frac{mm\ gr}{m^2\ h}$ ; 4 g de celulosa, 3 g de

plastificante), por lo contrario, se encuentra el tratamiento TP1 ( $6,52E-3 \frac{mm\ gr}{m^2\ h}$ ; 2 g de celulosa, 2 g de plastificante), otros autores como Siti Nuurul et al (2020), obtuvieron  $1,250E-2 \frac{mm\ gr}{m^2\ h}$  en bioplásticos de celulosa de cascara de cacao y fibra de bagazo de caña, valor similar a los reportados en la presente investigación. Poseer una permeabilidad baja significa que el bioplástico puede prevenir la transferencia de humedad entre los alimentos y el ambiente (Luchese et al., 2015). Los requerimientos de un recubrimiento de alimentos dependen de su aplicación y de las propiedades de los alimentos a proteger, para frutas y verduras frescas, que son alimentos vivos que respiran, sus películas deben tener una baja permeabilidad al vapor de agua por lo que reducen las tasas de desecación, mientras que la permeabilidad al O<sub>2</sub> debe ser lo suficientemente baja para reducir las tasas de respiración, extendiendo la vida útil del producto, pero no lo suficientemente bajo para crear condiciones anaeróbicas, lo que lleva a la producción de etanol y formación de sabores extraños (Azmin et al., 2020). Bertuzzi et al., (2007) explicaron que los derivados de la celulosa podrían aplicarse como películas y recubrimientos comestibles en el envasado y la conservación de alimentos.

### 3.3.2.5. Pruebas mecánicas

Las pruebas de tracción se realizaron en el laboratorio de curtiembre y fibras ESPOCH, además el análisis estadístico se lo elaboró en el software Statgraphics 19.

**Tabla 20-3:** Resultados de las pruebas de tracción

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	RESISTENCIA A LA TENSIÓN (N/ cm <sup>2</sup> )	ELONGACIÓN (%)
TP1	1	273,333	43,3
	2	326,667	63,3
	3	260,000	73,3
TP2	1	326,667	163,3
	2	326,667	126,7
	3	260,000	173,3
TP3	1	460,000	26,7
	2	913,333	40,0
	3	653,333	30,0
TP4	1	460,000	30,0
	2	260,000	23,3
	3	133,333	33,3

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

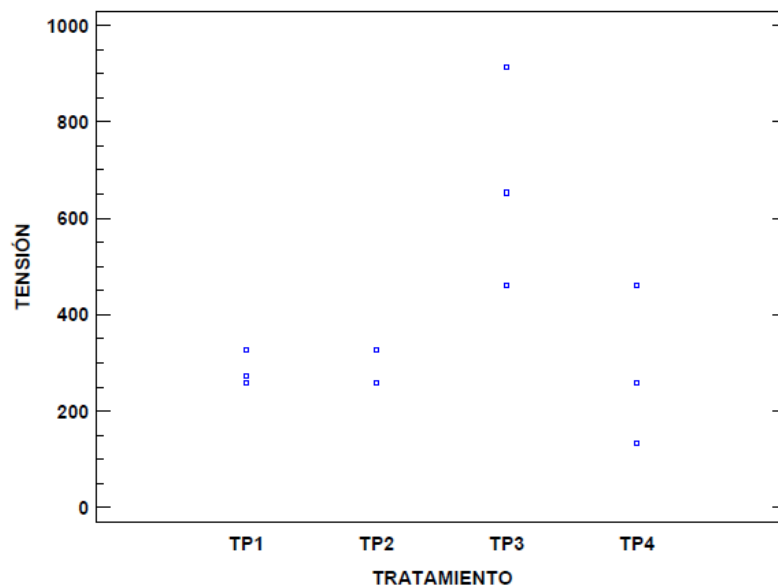
3.3.2.5.1. Resumen estadístico de la resistencia a la tensión

El software ejecuta un análisis de varianza de un factor para resistencia a la tensión con un recuento de 12 observaciones en cuatro tratamientos, la siguiente tabla detalla los resultados obtenidos:

**Tabla 21-3:** Resumen Estadístico para la resistencia a la tensión de las biopelículas

TRATAMIENTO	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
TP1	3,000	286,667	35,277	12,306%	260,000	326,667	66,667	1,031
TP2	3,000	304,445	38,490	12,643%	260,000	326,667	66,667	-1,225
TP3	3,000	675,555	227,482	33,673%	460,000	913,333	453,333	0,308
TP4	3,000	284,444	164,700	57,902%	133,333	460,000	326,667	0,462
Total	12,000	387,778	212,172	54,715%	133,333	913,333	780,000	2,256

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Figura 6-3:** Dispersión de la tensión por código de nivel

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

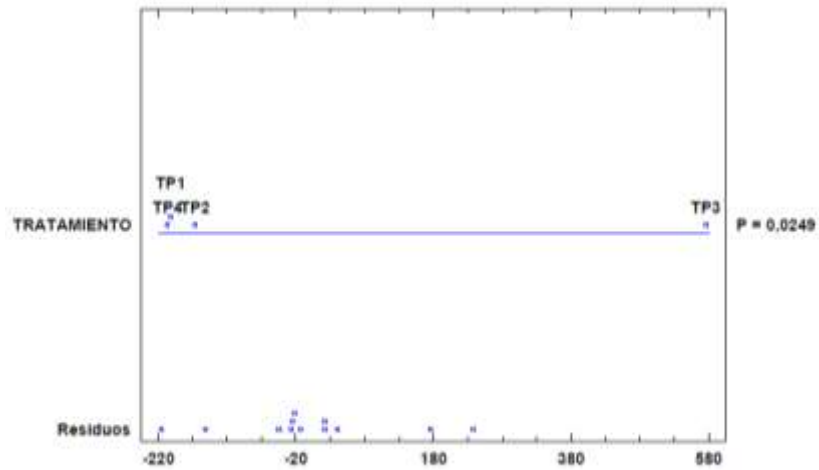
La figura 6-3, explica la existencia de un valor atípico, en el tratamiento TP3, ya que, uno de los puntos tiene mayor tamaño que el resto, es así, que el tratamiento requiere corrección.

La tabla 22-3 descompone la varianza en dos componentes: entre grupos y dentro de grupos.

**Tabla 22-3:** ANOVA para la tensión por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	33,199	3	11,066	5,420	0,0249
Intra grupos	16,320	8	20,400		
Total (Corr.)	49,519	11			

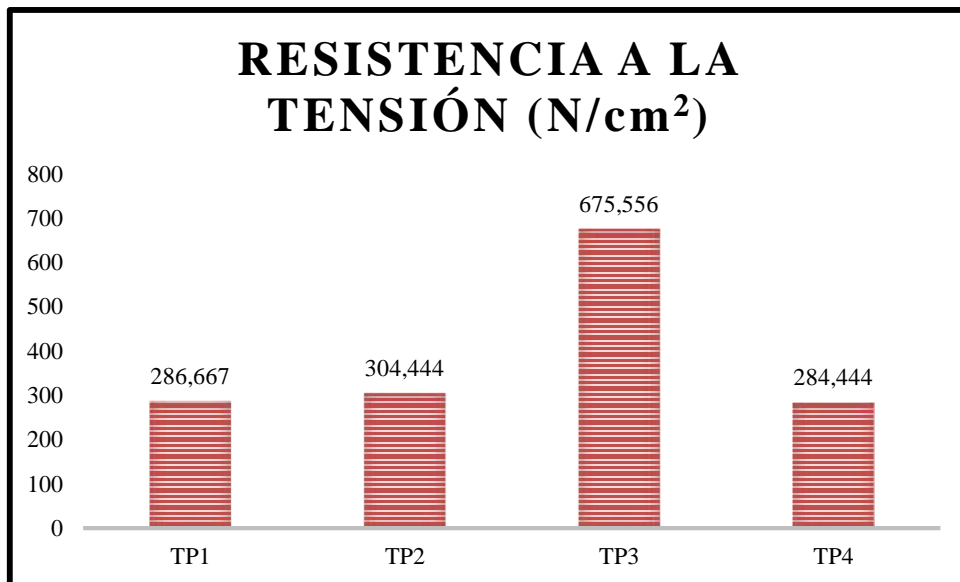
Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Figura 7-3:** Gráfico ANOVA para la tensión

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

Como el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, se evidencia en la figura 7,3 la existencia de una diferencia significativa entre la media de la resistencia a la tensión entre un tratamiento y otro, con un nivel del 5% de significación.



**Gráfico 5-3:** Resistencia a la tensión media por tratamientos

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

El gráfico 5-3 expone que el tratamiento TP3 (4 g de celulosa, 2 g de plastificante) posee mayor resistencia a la tensión con 675,556 N/cm<sup>2</sup>, en relación a las normas ASTM, mencionan que un plástico debe presentar una resistencia mínima de 343,2328 5 N/cm<sup>2</sup> (Villalta, 2018, p.63), por lo tanto el tratamiento TP3 se encuentra bajo la norma y puede ser considerado con bioplástico para embalaje de alimentos.

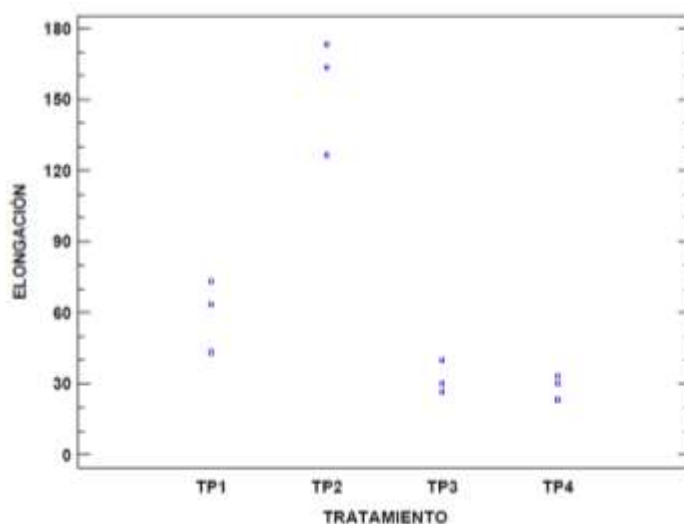
### 3.3.2.5.2. Resumen estadístico para el porcentaje de elongación

La tabla 23-3 enlista el resumen estadísticos para el porcentaje de elongación para cada tratamiento:

**Tabla 23-3:** Resumen estadístico para la elongación de las biopelículas

TRATAMIENTO	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
TP1	3,000	59,967	15,275	25,473%	43,300	73,300	30,000	-0,661
TP2	3,000	154,433	24,533	15,886%	126,700	173,300	46,600	-0,999
TP3	3,000	32,233	6,926	21,486%	26,700	40,000	13,300	0,919
TP4	3,000	28,867	5,095	17,652%	23,300	33,300	10,000	-0,672
Total	12,000	68,875	54,645	79,339%	23,300	173,300	150,000	1,702

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Figura 8-3:** Dispersión por código de nivel para el rendimiento de elongación

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

La figura 8-3, refleja un valor atípico, en el tratamiento TP2, ya que, uno de los puntos tiene mayor tamaño que el resto, por lo tanto, necesita ser corregido ya que pudo manifestarse por circunstancias externas al proceso.

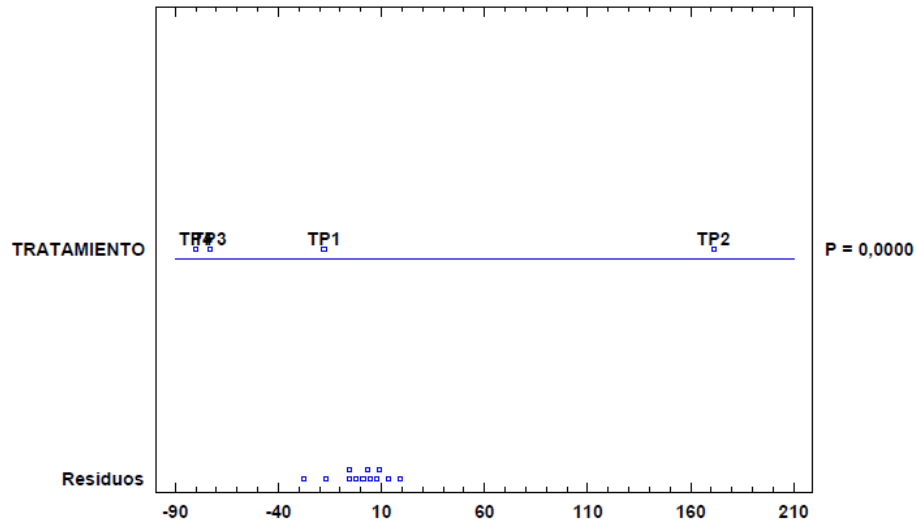
La tabla 24-3 descompone la varianza en dos componentes, para obtener la Razón-F.

**Tabla 24-3:** ANOVA para la elongación por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31028,600	3	10342,900	45,510	0,000
Intra grupos	1818,2300	8	227,278		
Total (Corr.)	32846,800	11			

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

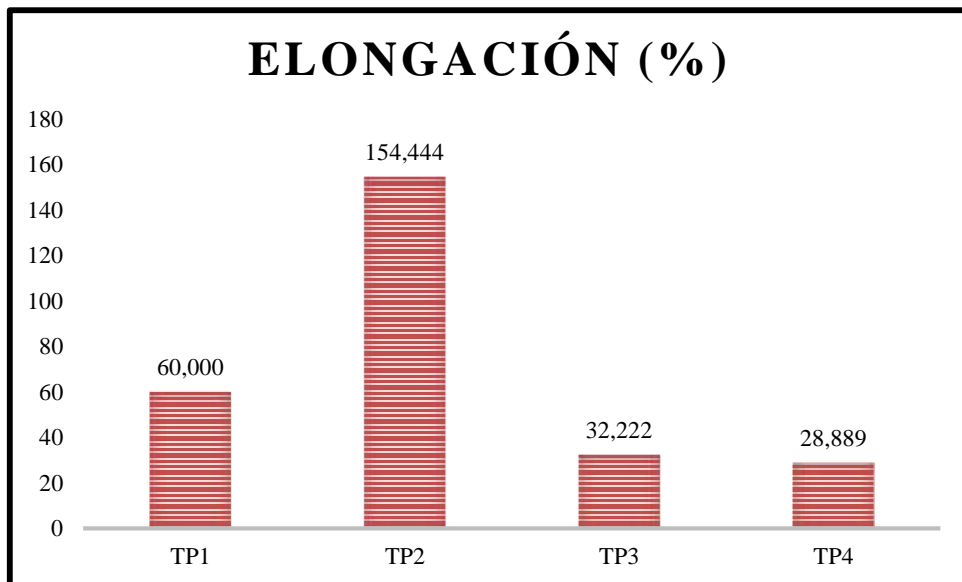




**Figura 9-3:** Gráfico ANOVA para la elongación

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

Se puede apreciar en la figura 9-3, la existencia de una diferencia significativa entre la media del porcentaje de elongación y cada tratamiento, debido a que el valor-P es menor que 0,05, con un nivel del 5% de significación.



**Gráfico 6-3:** Media del porcentaje de elongación por tratamientos

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

La grafica 6-1 indica cómo influye la variable (plastificante) en la elongación de las películas, predice que la cantidad de plastificante debe ser igual o mayor a la cantidad de celulosa para incrementar su elongación, el TP2 ( 2 g de celulosa y 3 g de plastificante) presenta una valor de 154,444 %, en comparación a otros estudios se encontraron que Guamán (2019) obtuvo entre el 12,62% al 30,67% de elongación en bioplástico a partir de cáscaras de papa, Arévalo et al (2010)

5,09% a partir de residuos de cítricos, Amorim (2015) 51,20% a partir de almidón de jaca con lizosomas, 51,60% en base a cáscara de naranja reforzadas con celulosa bacteriana y Bilo et al. (2018) 63% con paja de arroz, todos los valores antes mencionados están por debajo del resultado de TP2, es por ello que se considera al TP2 como uno de los mejores tratamientos para el recubrimiento de frutas y verduras frescas, debido a su gran elasticidad. Por otro lado, el tratamiento TP3 siendo el más resistente a la tensión su elongación es baja del 32,22%, sin embargo este valor se encuentra cercano a los detallados en bibliografía.

### 3.3.2.6. Pruebas de biodegradabilidad

Se basó en la NTE INEN 2643: Especificación para plásticos compostables, con el fin de observar la pérdida de peso en tres condiciones diferentes como: agua, suelo y ambiente.

**Tabla 25-3:** Resultados obtenidos en las pruebas de biodegradabilidad

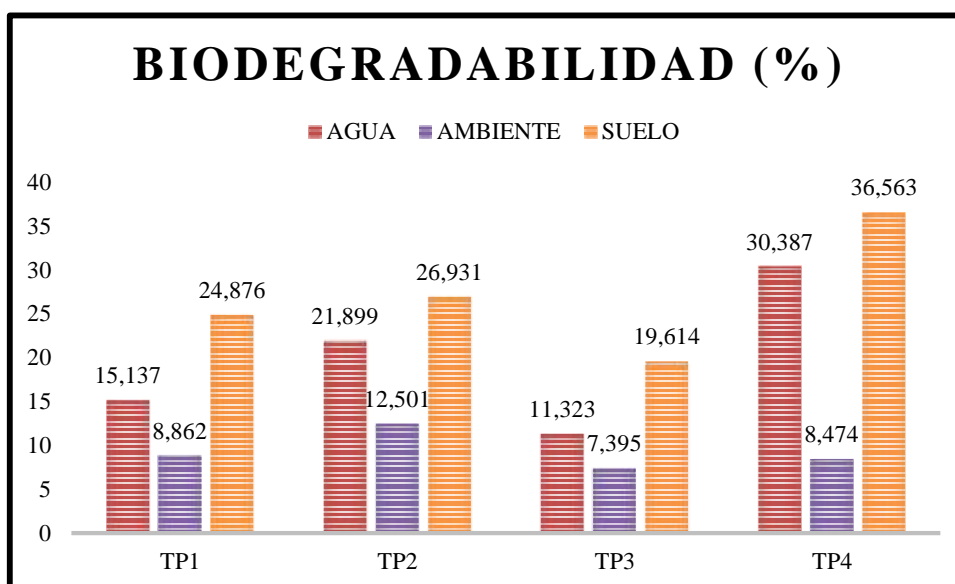
BIODEGRADABILIDAD (%)												
AGUA												
TRATAMIENTO	TP1			TP2			TP3			TP4		
REPETICIÓN	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
10 días	5,690	7,710	7,010	6,680	6,290	8,220	5,730	7,590	2,390	7,960	6,560	9,460
20 días	6,340	4,470	3,660	3,040	14,340	7,650	2,550	2,350	5,460	19,390	14,390	18,81
30 días	3,110	4,870	4,960	13,850	2,780	7,600	2,050	3,490	3,600	10,440	9,570	4,710
<b>TOTAL</b>	14,42	16,13	14,87	22,04	21,96	21,69	10,01	12,91	11,04	33,55	27,65	29,95
AMBIENTE												
10 días	2,970	3,060	4,070	4,320	5,450	3,930	3,520	2,410	2,490	2,200	2,740	3,340
20 días	3,190	3,490	4,240	4,750	4,960	4,080	3,660	2,580	3,340	3,000	2,920	3,510
30 días	3,030	2,710	0,600	4,510	6,890	0,380	0,340	2,400	1,970	2,140	2,810	3,530
<b>TOTAL</b>	8,910	8,980	8,700	12,98	16,33	8,200	7,370	7,210	7,610	7,150	8,240	10,03
SUELO												
6 días	8,550	9,250	7,340	8,360	8,840	7,980	7,530	8,610	7,940	7,280	7,330	7,430
12 días	7,540	9,210	6,510	7,970	7,780	7,840	7,210	8,240	6,980	6,420	6,920	6,640
18 días	7,130	8,410	6,510	7,100	6,610	7,540	7,130	8,000	6,930	6,380	6,040	6,010
24 días	6,730	8,310	6,360	7,010	6,400	6,890	6,890	7,550	6,490	5,890	5,770	5,720
30 días	6,440	7,940	5,910	6,790	6,080	6,850	6,820	7,400	6,490	5,850	5,600	5,230
<b>TOTAL</b>	27,30	15,73	31,60	25,83	32,52	22,45	17,00	18,06	23,78	33,70	35,06	40,93

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

**Tabla 26-3:** Biodegradabilidad media por tratamientos

TRATAMIENTO	MEDIA (%)		
	AGUA	AMBIENTE	SUELO
TP1	15,137	8,862	24,876
TP2	21,899	12,501	26,931
TP3	11,323	7,395	19,614
TP4	30,387	8,474	36,563

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.



**Gráfico 7-3:** Biodegradabilidad media por tratamientos y condiciones

Realizado por: Palacios, Lisette, 2021.

En la gráfica 7-3 se observa que las películas presentan baja biodegradación en un tiempo de 30 días, en condiciones de agua y suelo la degradación se efectuó por debajo del 40 % es importante señalar que el agua empleada fue potabilizada y para biodegradación de suelo se empleó tierra negra, por otra parte, en condiciones de ambiente a 15°C no supera el 15 %; la biodegradación posee relación con la humedad ya que es una característica que lo diferencia del plástico convencional, a menor humedad, su biodegradabilidad es menor, esto concuerda con los resultados de humedad de la presente investigación ya que sus valores no sobrepasan del 1%.

### 3.4. Prueba de hipótesis

#### 3.4.1. Hipótesis 1

*Las películas plásticas biodegradables obtenidas crean una barrera física a los gases, modificando la atmósfera interna de la fruta y verdura al recubrir retrasando el deterioro de frutas y verduras frescas.*



**Figura 10-3:** Recubrimiento de frutas

**Realizado por:** Palacios, Lisette, 2021

Se obtuvo una película plástica biodegradable con comportamiento hidrófilo lo que permitió reducir la barrera del vapor de agua controlando el traspaso de gases entre los alimentos y la atmósfera, retrasando el deterioro de las frutas y verduras. Se realizó el recubrimiento de fresas y se observó que la película plástica biodegradable mantuvo buena apariencia y conservó las características organolépticas durante aproximadamente 8 días, mientras que en manzanas se mantuvo en buenas condiciones durante 20 días, por lo que, se deduce que el recubrimiento generado no es aplicable para frutas y verduras que sean blandas y que tengan alto contenido de agua. Argumentando lo anterior, se puede mencionar que todas las películas y revestimientos de embalaje deben tener al menos dos componentes: una matriz, que generalmente consiste en una macromolécula en este caso es la celulosa, capaz de formar un cohesivo estructural y un plastificante (glicerina), necesario para reducir la rigidez y fragilidad inherente de las matrices. Además, algunos otros componentes se pueden incorporar para mejorar las propiedades físicas de películas y recubrimientos, como su barrera y propiedades mecánicas, o su resistencia a humedad.

### **3.4.2. Hipótesis 2**

*El método por hidrólisis básica será efectivo permitiendo tener un alto rendimiento de extracción de celulosa.*

La metodología de Ortega (2019), por medio de hidrólisis básica, permitió eliminar hemicelulosa y lignina, sin embargo, el espectro infrarrojo evidencia restos de estos compuestos.

### **3.4.3. Hipótesis 3**

*La cantidad de celulosa y aditivos permite la formación de una película bioplástica*

Todos los tratamientos generaron películas bioplásticas, sin embargo TP2 (2 g de celulosa y 3 g de plastificante) presentó los mejores resultados de elongación, característica importante de los recubrimientos de alimentos con 2 variables (celulosa y glicerina) y 2 constantes (alcohol polivinílico y pectina).

### **3.4.4. Hipótesis 4**

*La película plástica biodegradable presenta propiedades similares a los recubrimientos habituales.*

La película obtenida en el tratamiento TP2 presenta una resistencia cercana a la norma, sin embargo, su elongación es adecuada, Solano et al. (2020) menciona que sus características dependen de las necesidades que se busquen en la película o recubrimiento, pueden agregarse diferentes aditivos para mejorar estas propiedades (Solano et al., 2020, p.23).

## CONCLUSIONES

- Mediante hidrólisis básica, se obtuvo un mayor rendimiento de extracción del 17,51% en el tratamiento T6 a velocidad alta de trituración de la licuadora durante 120 segundos.
- En la caracterización de la materia prima, la celulosa presento humedad 4,64; ceniza 5,82; índice de solubilidad 14,97; pH 6,20; fibra 36,32 y proteína 0,52, además se realizó un espectro infrarrojo determinando los grupos funcionales que caracterizan a la celulosa, siendo adecuada para la elaboración de bioplástico.
- Se obtuvo la formulación óptima para la elaboración de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*), con el tratamiento TP2 con 2 g de celulosa, 3 g de plastificante, 2,5 g la pectina y 4 g alcohol polivinílico.
- Se validó el bioplástico mediante pruebas fisicoquímicas y mecánicas, presentando el mejor tratamiento TP2 con humedad del 0,674 %, permeabilidad  $9,75E-3 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$  solubilidad 47,317%, resistencia a la tensión de 304,445 N/cm<sup>2</sup> y una elongación de 154,433%, además, presento una degradación del 11,323%, 7,395% y 19,614% en un lapso de 30 días, en condiciones agua, ambiente y suelo. Se concluye que el bioplástico obtenido cumple con los parámetros dentro de las normas.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar estudios variando la concentración del hidróxido de sodio, en la hidrólisis básica, con el fin de eliminar el contenido de hemicelulosa y lignina en su totalidad sin dañar la estructura de la celulosa.
- Con el fin de mejorar las propiedades del bioplástico, se recomienda el estudio de la influencia de diferentes plastificantes y aditivos.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUSTÍN, M., AHMMAD, B., ALONZO, S., & PATRIANA, F.** “Bioplástico a base de almidón y nanocristales de celulosa de paja de arroz”. *J, Reinf, Plast, Compos* [En línea], 2014, 33(), pp. 2205 – 2213. [Consulta: 2021-03-19]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84913616446&origin=inward&txGid=8168de4404ea4562872e61a77f910ff2>

**AMORIM SANTOS, Taline.** Desarrollo y caracterización de bioplásticos basados de almidón de jaca con incorporación de lisozima. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad estatal del suroeste de Bahía – UESB, Bahía, Brasil. 2015. pp.30-54. [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: [https://hugepdf.com/download/desenvolvimento-e-caracterizaao-de-bioplasticos-a-base-de-5b0b793784bd2\\_pdf](https://hugepdf.com/download/desenvolvimento-e-caracterizaao-de-bioplasticos-a-base-de-5b0b793784bd2_pdf)

**ASROFI, M., SAPUAN, S., ILYAS, R., & RAMESH, M.** “Characteristic of composite bioplastics from tapioca starch and sugarcane bagasse fiber: Effect of time duration of ultrasonication (Bath-Type)”. *Materials Today: Proceedings* [En línea]. 2020. (Indonesia). [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.254>

**AZMIN, S., HAYAT, N., & NOR, M.,** “Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre”. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [En línea]. 2020. (Malasia). [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003>

**BAMGBOLA, A., ADEYEMI, O., OLUBOMEHIN, O., AKINLABI, A., SOJINU, O., & IWUCHUKWU, P.** “Isolation and characterization of cellulose from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut shells”, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* [En línea], 2020, 3(), p, 100032. [Consulta: 2021-03-19]. ISSN 2666-0865. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.100032>

**CHIA, W., YING, D., KHOO, K., KAY, A., & CHEW, K.** “Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production”. *Environmental Science and Ecotechnology* [En línea]. 2020, (Malasia), 4(), [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100065>



**DE AZEREDO. H., ROSA. M., DE SÁ. M., SOUZA. M., & WALDRON. K.** “The use of biomass for packaging films and coatings”. *Advances in Biorefineries* [En línea]. 2014. (Ucrania) pp. 819–874. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1533/9780857097385.2.819>

**EL PAÍS.** *Sólo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla advirtió la ONU.* [En línea]. 2018. [Consulta: 19 ene. 21]. Disponible en: <https://www.elpais.com.uy/vida-actual/plastico-usado-mundo-recicla-advirtio-onu.html#:~:text=Medio%20ambiente-.S%C3%B3lo%20el%209%20%25%20del%20pl%C3%A1stico%20usado%20en%20el%20mundo%20se.los%20desperdicios%20producidos%20son%20reciclad>

**FABJOLA BILO, STEFANO PANDINI, LUCIANA SARTORE, LAURA E. DEPERO, GIOVANNA GARGIULO, ANDREA BONASSI, STEFANIA FEDERICI, & ELZA BONTEMPI.** “A sustainable bioplastic obtained from rice Straw”. *Journal of Cleaner Production* [En línea], 2018, 200(), pp. 357-368. [Consulta: 2021-03-19]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.252>.

**GALDEANO, Melisa Cintia.** Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia con diferentes plastificantes, producidos por casting e extrusão. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Estatal de Londrina. Brasil, 2007. pp. 22-148 [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_cfdb76855466935271c515d8ec294a3c](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_cfdb76855466935271c515d8ec294a3c)

**GUAMÁN BRAVO, Jenny Marcela** Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp.26-54. [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

**JAYASEKARA. R., HARDING. I., BOWATER. I., & LORNERGAN. G.** “Biodegradability of selected range of polymers and polymer blends and standard methods for assessment of biodegradation”. *J. Polym. Environ* [En línea]. 2005, (Australia), 13(3), pp. 231 – 251. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10924-005-4758-2>

**JIMÉNEZ COELLO, Carolina.** Evaluación de polímeros en pseudotallos de *Musa acuminata* AAA, *Musa sapientum* ABB y *Musa paradisiaca* AAB para elaboración de bioplástico. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) El Colegio de la Frontera Sur. México, 2017. p. 56 [Consulta: 2021-04-13]. Disponible en: [http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22\\_1/apache\\_media/9MMIH2FGXFUT53TBDJTM15FLQ7HDVN.pdf](http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/9MMIH2FGXFUT53TBDJTM15FLQ7HDVN.pdf)

**JINCHUAN XU, DOMENICO SAGNELLI, MARWA FAISAL, ALIXANDER PERZON, VINCENZO TARESCO, MARCO MAIS, CONCETTA VALERIA L. GIOSAFATTO, KIM H. HEBELSTRUP, PETER ULVSKOV, BODIL JØRGENSEN, LING CHEN, STEVEN M. HOWDLE, & ANDREAS BLENNOW.** “Amylose/cellulose nanofiber composites for all-natural, fully biodegradable and flexible Bioplastics”. *Carbohydrate Polymers* [En línea], 2021, 253(), p. 117277. [Consulta: 2021-03-19]. ISSN 0144-8617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117277>.

**JOGI. K., & RAJEEV. B.** “Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production”. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea]. 2020, (Estonia), 18, p. 100326. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100326>

**JOHAR, N., AHMAD, I., & DUFRESNE, A.** “Extracción, preparación y caracterización de fibras de celulosa y nanocristales de cáscara de arroz”, *Cultivo Ind, Pinchar* [en línea], 2012, 37(1), pp. 93–99. [Consulta: 2021-03-19]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669011004791>

**LIU, M., ARSHADI, M., JAVI. F., LAWRENCE, P., DAVACHI, S., & ABBASPOURRAD, A.** “Green and facile preparation of hydrophobic bioplastics from tea waste”. *Journal of Cleaner Production*. [En línea]. 2020, (Estados Unidos), 276, p. 123353. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123353>

**MANDAL, A., & CHAKRABARTY, D.** “Aislamiento de nano celulosa de residuos de bagazo de caña de azúcar (SCB) y su caracterización”, *Carbohidrate, Polym* [En línea], 2011, 86(), pp. 1291-1299. [Consulta: 2021-03-19]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171100498X>

**MUELLER. R.** “Biological degradation of synthetic polyesters – enzymes as potential catalysts for polyester recycling”. *Proc. Biochem* [En línea]. 2006. (Alemania). 41. pp. 2124 – 2128. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.05>.

**MURALIDHARAN. V., AROKIANATHAN. M., BALARAMAN. M., & PALANIVEL. S.** “Tannery trimming waste based biodegradable bioplastic: Facile synthesis and characterization of properties”. *Polymer Testing* [En línea]. 2019. (India). [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106250>

**NARANJO, CUAUHTÉMOC DE DIOS ET AL.** “Aislamiento y caracterización de celulosas obtenidas de fibras de *Agave salmiana* aplicando dos métodos de extracción ácido-alcali”. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* [En línea], 2016, 7(1), pp. 31-43. [Consulta: 2021-03-18]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000100031&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000100031&lng=es&nrm=iso)

**NOR AMIRA OTHMAN, FATMAWATI ADAM, & NUR HIDAYAH MAT YASIN.** “Reinforced bioplastic film at different microcrystalline cellulose concentration”. *Materials Today: Proceedings* [En línea], 2021. [Consulta: 2021-03-19]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1010>

**PARRA PÉREZ, Joselyne Brigitte.** Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp.21-61. [Consulta: 2021-02-20]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13808/1/96T00573.pdf>

**PEROTTO, G., SIMONUTTI, R., CESERACCIU, L., MAURI, M., BESGHINI, D., ATHANASSIOU. A.** “Water-induced plasticization in vegetable-based bioplastic films: A structural and thermo-mechanical study”. *Polymer* [En línea]. 2020. (Italia). [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122598>.

**RÍOS TIRIRA, Diego Fabián.** Caracterización de la patogenicidad de las principales enfermedades del suelo y que se transmiten por semilla en cultivo de haba (*Vicia Faba L.*) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2007. [Consulta: 2020-12-23]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/872/1/iniapsctR586c.pdf>

**SCHWANNINGER, M., RODRIGUES, J., PEREIRA, H., & HINTERSTOISSER, B.** “Efectos del fresado vibratorio de bolas de corta duración sobre la forma de los espectros FT-IR de madera y celulosa”. *Vib. Spectrosc* [En línea], 2004, 36(), pp. 23-24. [Consulta: 2021-03-19]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092420310400030X>

**SOLANO, L., ALAMILLA, L., & JIMENEZ, C.** “Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados”. *TIP* [En línea]. 2018, vol.21, suppl.2 [Consulta: 2021-03-19]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.

**THIRUCHELVI, R., DAS. A., & SIKDAR, E.** “Bioplastics as better alternative to petro plastic”. *Materials Today: Proceedings* [En línea]. 2020. (India). [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.176>

**VERBEEK, C., & VAN DEN BERG, L.** “Extrusion processing and properties of protein-based thermoplastics”. *Macromol. Mater. Eng* [En línea]. 2010, (Nueva Zeland), 295(1), pp. 10 – 21, [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mame.200900167>

**VILLALTA ESTRADA, Antonio Adolfo.** Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (*Mangifera indica* l.) a escala laboratorio. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2018. [Consulta: 2021-04-23]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10915/1/Antonio%20Adolfo%20Villalta%20Estrada.pdf>

**VIMUDHA MURALIDHARAN, MICHAEL SELVAKUMAR AROKIANATHAN, MADHAN BALARAMAN, & SARAVANAN PALANIVEL.** “Tannery trimming waste based biodegradable bioplastic: Facile synthesis and characterization of properties”, *Polymer Testing* [en línea], 2020, 81(), p. 106250. [Consulta: 2021-03-19]. ISSN 0142-9418. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106250>

**YÁNEZ, Gabriel.** Evaluación del deshije y distancias de siembra en el cultivo de haba (*Vicia faba*) [En línea]. 2013. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, p. 2. [Consulta: 2020-12-24]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/4332/1/tesis-015%20%20Gesti%C3%B3n%20de%20Empresas%20Agr%C3%ADcolas%20y%20manejo%20de%20poscosecha.pdf>

**ZIMMERMANN, L., DOMBROWSKI, A., VOLKER, C., & WAGNER, M.** “Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition”. *Environment International* [En línea], 2020, (Alemania), 145(). [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106066>

ANEXO A



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  <b>CHIMBORAZO</b>                  FACULTAD DE CIENCIAS                  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR:                  Palacios Pacheco Lisette Haylin</p>	SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA		
<p>a) Recolección de las vainas de haba                  b) Selección y lavado                  c) Pesaje</p>	<p><input type="radio"/> Aprobado                      <input type="radio"/> Preliminar  <input type="radio"/> Certificado                      <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar  <input type="radio"/> Información                      <input type="radio"/> Por calificar</p>		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2021/02/25

## ANEXO B



a)



b)




c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	OPERACIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA		
a) Trituración	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Preliminar <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
b) Hidrolisis básica			2	1:1	2021/02/25
c) Blanqueamiento					

## ANEXO C





SAQMIC  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 0958580374 - 052924417  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

---

**INFORME DE ANÁLISIS**


Fecha: 01 de marzo del 2021  
Análisis solicitado por: Srta. Haylin Palacios  
Tipo de muestras: Celulosa de Vainita de haba (*Vicia faba*)  
Procedencia de la muestra: Riobamba

**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados
pH	-	Potenciométrica	6.20
Proteína	%	Micro-Kjeldahl	0.522
Fibra	%	Gravimétrico	36.316
Humedad	%	Gravimétrico	4.64
Cenizas	%	Gravimétrico	5.82
Punto de gelatinización	°C	Gravimétrico	No Gelatiniza
Ind. Solubilidad		Anderson	14.97
Coliformes Totales	UFC/100mL	Siembra en masa	120
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/100mL	Siembra en masa	400

Observaciones:

Atentamente:



SAQMIC  
Dra. Gina Álvarez R.  
Tel: 9 924 222 034

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>OBTENCIÓN DE CELULOSA</b>			
a) Molienda	<input type="radio"/> Aprobado	<input type="radio"/> Preliminar	ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
b) Celulosa obtenida	<input type="radio"/> Certificado	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		3	1:1	2021/02/25
c) Caracterización fisicoquímica	<input type="radio"/> Información	<input type="radio"/> Por calificar				



## ANEXO D



a)



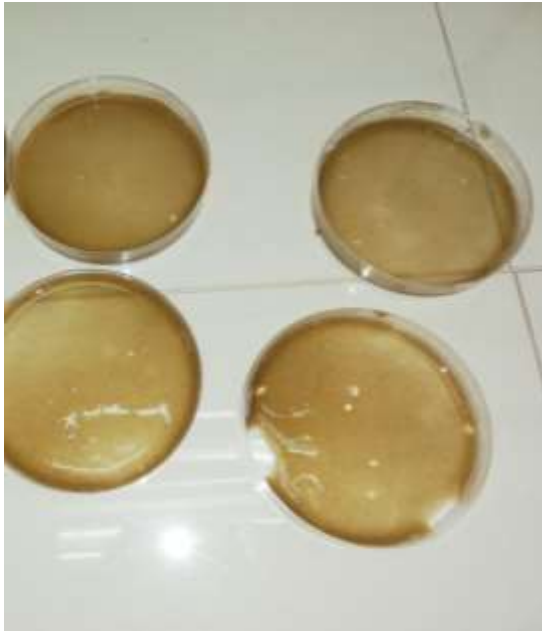
b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	FORMULACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE					
a) Adición de componentes b) Agitación y mezclado c) Moldeo de la película	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Por calificar		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">LÁMINA</th> <th style="width: 33%;">ESCALA</th> <th style="width: 33%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">2021/02/25</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	4	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
4	1:1	2021/02/25						

## ANEXO E



a)



b)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE</b>		
a) Secado b) Número de repeticiones por muestra	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Preliminar <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Por calificar	ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			5	1:1	2021/02/25

## ANEXO F



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	PLÁSTICO BIODEGRADABLE		
			<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Información	<input type="radio"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Por calificar	<b>LÁMINA</b>
a) Elasticidad b) Tratamiento TP3 c) Repeticiones TP3			6	1:1	2021/02/25

## ANEXO G



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	<b>PRUEBA DE SOLUBILIDAD</b>		
a) Preparación de muestras b) Filtración c) Secado	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
		7	1:1	2021/02/25	

## ANEXO H



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	<b>PRUEBA DE PERMEABILIDAD</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
a) Tratamientos b) Preparación de la muestra c) Área libre de humedad	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Información	<input type="radio"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Por calificar	8	1:1	2021/02/25

## ANEXO I



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
<p>a) En ambiente</p> <p>b) En agua</p> <p>c) En tierra</p>	<p><input type="radio"/> Aprobado</p> <p><input type="radio"/> Certificado</p> <p><input type="radio"/> Información</p> <p><input type="radio"/> Preliminar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="radio"/> Por calificar</p>	<p>ELABORADO POR:</p> <p>Palacios Pacheco Lisette Haylin</p>	9	1:1	2021/02/25

## ANEXO J



a)



b)



c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	RESULTADOS DE BIODEGRADABILIDAD		
a) Ambiente TP3 b) Agua TP3 c) Suelo TP3	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Preliminar <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			10	1:1	2021/02/25

## ANEXO K

**LDPF**  
LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS

**DATOS CLIENTE**

CÓDIGO: 184871  
 NOMBRE: LISETTE HAYLIN  
 PALACIOS PACHECO  
 CÉDULA: 1779481882  
 DIRECCIÓN: Pedro Moncayo y Diego de Rodríguez (Carrón Pedernera)  
 TELÉFONO: 0984811328  
 CORREO ELECTRÓNICO: [lapalacios23@hotmail.com](mailto:lapalacios23@hotmail.com)  
 RESPONSABLE DE ENTREGA: Ing. Julio Llerenas

**DATOS GENERALES**

REQUISITO: 2067  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 03 de Mayo del 2021  
 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 11 de Mayo del 2021  
 # DE MUESTRAS: 12

**IDENTIFICACIÓN**

- T191 - Repetición 1 para tratamiento 1 (BIOPLASTICO)
- T192 - Repetición 2 para tratamiento 1 (BIOPLASTICO)
- T193 - Repetición 3 para tratamiento 1 (BIOPLASTICO)
- T201 - Repetición 1 para tratamiento 2 (BIOPLASTICO)
- T202 - Repetición 2 para tratamiento 2 (BIOPLASTICO)
- T203 - Repetición 3 para tratamiento 2 (BIOPLASTICO)
- T301 - Repetición 1 para tratamiento 3 (BIOPLASTICO)
- T302 - Repetición 2 para tratamiento 3 (BIOPLASTICO)
- T303 - Repetición 3 para tratamiento 3 (BIOPLASTICO)
- T401 - Repetición 1 para tratamiento 4 (BIOPLASTICO)
- T402 - Repetición 2 para tratamiento 4 (BIOPLASTICO)
- T403 - Repetición 3 para tratamiento 4 (BIOPLASTICO)

CONDICIONES AMBIENTALES: Especificadas del laboratorio

Panamericana Sur Km. Teléfono: 593(03)2998350 EXT: 350 Dec., 152  
 Mail: [laboratorio.litce@gmail.com](mailto:laboratorio.litce@gmail.com)

a)

**LDPF**  
LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS

MUESTRAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE VAINAS DE HABA (Vicia faba)

C1 C2 C3

HOJA TÉCNICA: MUESTRAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE VAINAS DE HABA (Vicia faba)  
 (Resistencia a la tensión y Elongación)

PRUEBA	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL SUGERIDO
Resistencia a la tensión (N/cm <sup>2</sup> )	C1	IUP6	275,333	300
	C2		326,667	A
	C3		260,000	1500
Elongación (%)	C1	IUP6	43,3	100
	C2		63,3	A
	C3		75,3	200

Panamericana Sur Km. Teléfono: 593(03)2998350 EXT: 350 Dec., 152  
 Mail: [laboratorio.litce@gmail.com](mailto:laboratorio.litce@gmail.com)

b)

MUESTRAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE VAINAS DE HABA (Vicia faba)

C1 C2 C3

HOJA TÉCNICA: MUESTRAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE VAINAS DE HABA (Vicia faba)  
 (Resistencia a la tensión y Elongación)

PRUEBA	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL SUGERIDO
Resistencia a la tensión (N/cm <sup>2</sup> )	C1	IUP6	326,667	300
	C2		326,667	A
	C3		260,000	1500
Elongación (%)	C1	IUP6	163,3	100
	C2		126,7	A
	C3		173,3	200

Panamericana Sur Km. Teléfono: 593(03)2998350 EXT: 350 Dec., 152  
 Mail: [laboratorio.litce@gmail.com](mailto:laboratorio.litce@gmail.com)

c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	RESULTADOS PRUEBA DE TRACCIÓN		
	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Información	<input type="radio"/> Preliminar <input checked="" type="radio"/> Por aprobar <input type="radio"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Datos e información b) Películas después de las pruebas c) Informe de resultados				11	1:1	2021/02/25



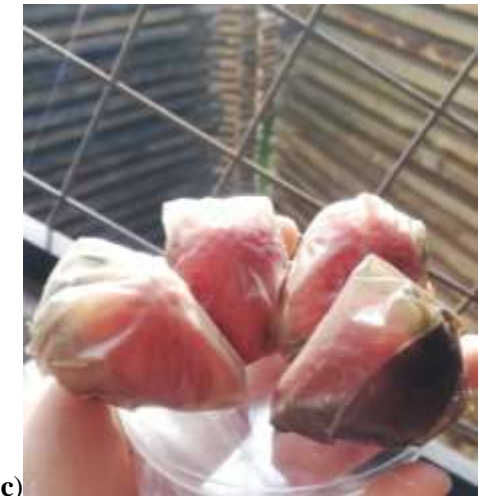
## ANEXO L



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE FRUTAS</b>		
a) Envoltura b) Tratamientos c) Evolución	<input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Preliminar <input type="radio"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="radio"/> Información <input type="radio"/> Por calificar	ELABORADO POR: Palacios Pacheco Lisette Haylin	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			11	1:1	2021/02/25



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

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

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

**Fecha de entrega:** 16 / 08 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Lisette Haylin Palacios Pacheco</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera Química</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por  
LEONARDO FABIO MEDINA  
NUSTE  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=BANCO  
CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE,  
l=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO  
MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.08.16 16:02:32  
-05'00'



1490-DBRA-UTP-2021