



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE UNA LÁMINA BIODEGRADABLE A PARTIR  
DE LA LENTEJA (*Lens culinaris*) PARA EL EMBALAJE DE  
ALIMENTOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN

**DIRECTOR:** ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA Ph.D.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Manuel Alejandro Flores Albán

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, Manuel Alejandro Flores Albán, 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, 03 de mes de 2021

**Manuel Alejandro Flores Albán**

**060459371-5**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **OBTENCIÓN DE UNA LÁMINA BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA LENTEJA (*Lens culinaris*) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**, realizado por el Sr.: **MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN**, 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. Mayra Paola Zambrano Vinueza MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-03
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR</b>	_____	2021-09-03
Ing. César Arturo Puente Guijarro MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-03

## **DEDICATORIA**

Por sobre todas las cosas se lo dedico a mis papás por todo el trabajo, sacrificio y paciencia durante todos estos años de universidad, gracias a ellos hoy soy todo aquello de lo que estoy orgulloso; a mis hermanos con quienes día a día voy creciendo y me ayudan a formarme como persona; a mis profesores y compañeros de carrera por la exigencia puesta en mí siempre esperando lo mejor.

Manuel

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento al Ingeniero Hannibal Brito porque sin él el Trabajo de Integración Curricular no habría sido posible; a mis papás, hermanos y a mi prima Linda por formar parte de los diferentes puntos de la investigación.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Facultad de Ciencias por permitirme formarme dentro de sus aulas.

Manuel

## TABLA DE CONTENIDOS

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

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Marco teórico.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Lenteja .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1.1. Tipos de lenteja .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.3. Almidón .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.3.1. Amilosa.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3.2. Amilopectina .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3.3. Propiedades funcionales del almidón.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.4. Aplicaciones industriales del almidón.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4. Biopolímeros .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.4.1. Clasificación de bioplásticos:.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.5. Plastificantes y Aditivos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.5.1. Glicerina .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.5.2. Ácido acético .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.6. Biodegradación.....</b>	<b>10</b>

### CAPÍTULO II

<b>2 MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1. Objetivo General.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Hipótesis y especificación de variables.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1. Hipótesis General .....</b>	<b>11</b>

2.2.2.	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	11
2.2.3.	<i>Identificación de variables</i> .....	12
2.2.4.	<i>Operacionalización de variables</i> .....	13
2.2.5.	<i>Matriz de consistencia</i> .....	14
2.3.	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	16
2.3.1.	<i>Tipo de investigación</i> .....	16
2.3.2.	<i>Diseño experimental de la investigación</i> .....	16
2.3.2.1.	<i>Diseño factorial 2k para la obtención del almidón de lenteja</i> .....	17
2.3.2.2.	<i>Diseño factorial 2k para la formulación de biopelícula a partir del almidón de lenteja</i> .....	18
2.3.3.	<i>Descripciones de materia prima, reactivas, materiales y equipos</i> .....	22
2.3.3.1.	<i>Equipos</i> .....	22
2.3.3.2.	<i>Materiales</i> .....	22
2.3.3.3.	<i>Reactivos</i> .....	23
2.4.	<b>Unidad de Análisis</b> .....	23
2.5.	<b>Población de Estudio</b> .....	23
2.6.	<b>Tamaño de Muestra</b> .....	23
2.7.	<b>Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	24
2.7.1.	<i>Técnica de extracción del almidón</i> .....	24
2.7.2.	<i>Caracterización del almidón, determinación de análisis proximal</i> .....	25
2.7.2.1.	<i>Prueba de pH:</i> .....	25
2.7.2.2.	<i>Densidad</i> .....	25
2.7.2.3.	<i>Viscosidad</i> .....	26
2.7.2.4.	<i>Temperatura de gelatinización</i> .....	26
2.7.2.5.	<i>Índice de solubilidad</i> .....	27
2.7.2.6.	<i>Humedad</i> .....	27
2.7.2.7.	<i>Ceniza</i> .....	28
2.7.2.8.	<i>Fibra</i> .....	28
2.7.2.9.	<i>Proteína</i> .....	29
2.7.2.10.	<i>Carbohidratos totales</i> .....	30
2.7.2.11.	<i>Amilosa y Amilopectina</i> .....	30
2.7.2.12.	<i>Levaduras, mohos y coliformes totales</i> .....	31
2.7.3.	<i>Técnicas de formulación de bioplástico a partir de almidón de lenteja</i> .....	31
2.7.3.1.	<i>Determinación de espesor</i> .....	32
2.7.3.2.	<i>Humedad del bioplástico</i> .....	32
2.7.3.3.	<i>Solubilidad del plástico</i> .....	33
2.7.3.4.	<i>Permeabilidad del plástico</i> .....	33



2.7.3.5.	<i>Pruebas de tracción del bioplástico</i> .....	34
2.7.3.6.	<i>Prueba de biodegradabilidad</i> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	36
3.1.	<b>Resultados</b> .....	36
3.1.1.	<i>Resultados de la aplicación del diseño factorial 22 para determinar el mejor rendimiento del almidón de lenteja</i> .....	36
3.1.2.	<i>Resultados del análisis físico, químico proximal y microbiológico del almidón de lenteja</i> .....	39
3.1.3.	<i>Resultado de la determinación del tratamiento óptimo del diseño experimental del bioplástico 22.</i> .....	40
3.1.4.	<i>Resultados de la caracterización de bioplásticos ensayos físicos y mecánicos.</i> .....	44
3.1.4.1.	<i>Contenido de humedad</i> .....	44
3.1.4.3.	<i>Solubilidad</i> .....	46
3.1.4.4.	<i>Permeabilidad</i> .....	48
3.1.4.5.	<i>Ensayo de Tracción</i> .....	49
3.1.4.6.	<i>Biodegradabilidad</i> .....	50
3.1.5.	<i>Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto</i> .....	54
3.2.	<b>Pruebas de hipótesis</b> .....	55
3.2.1.	<i>Hipótesis 1</i> .....	55
3.2.2.	<i>Hipótesis 2</i> .....	55
3.2.3.	<i>Hipótesis 3</i> .....	55
3.2.4.	<i>Hipótesis 4</i> .....	55
3.2.5.	<i>Hipótesis 5</i> .....	56
3.3.	<b>Discusión de Resultados</b> .....	56
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	59
	<b>BILIOGRAFÍA</b> .....	60
	<b>ANEXOS</b> .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Clasificación taxonómica de la lenteja .....	3
<b>Tabla 2-1.</b>	Tipos de Lentejas .....	4
<b>Tabla 2-1.</b>	Propiedades de los componentes del almidón .....	6
<b>Tabla 3-1.</b>	Tipos de lentejas.....	7
<b>Tabla 1-2.</b>	Variables dependientes e independientes para la obtención de almidón a partir de Lenteja ( <i>Lens culinaris</i> ) y obtención de láminas biodegradables .....	12
<b>Tabla 2-2.</b>	Operacionalización de variables en la obtención del almidón y en la formulación de la biopelícula .....	13
<b>Tabla 3-2.</b>	Matriz de consistencia.....	14
<b>Tabla 5-2.</b>	Variables de formulación .....	18
<b>Tabla 6-2.</b>	Método de la evaluación de pH.....	25
<b>Tabla 7-2.</b>	Método de la evaluación de densidad.....	25
<b>Tabla 8-2.</b>	Método de la evaluación de viscosidad .....	26
<b>Tabla 9-2.</b>	Método de la evaluación de Temperatura de gelatinización .....	26
<b>Tabla 10-2.</b>	Método de la evaluación de índice de solubilidad .....	27
<b>Tabla 11-2.</b>	Método de la evaluación de humedad .....	27
<b>Tabla 12-2.</b>	Método de la evaluación de ceniza.....	28
<b>Tabla 13-2.</b>	Método de la evaluación de fibra .....	28
<b>Tabla 14-2.</b>	Método de la evaluación de proteína.....	29
<b>Tabla 15-2.</b>	Método de obtención del bioplástico .....	31
<b>Tabla 16-2.</b>	Método de determinación de espesor del bioplástico .....	32
<b>Tabla 17-2.</b>	Método de la evaluación de humedad para el bioplástico.....	32
<b>Tabla 18-2.</b>	Método de la evaluación de solubilidad del bioplástico .....	33
<b>Tabla 19-2.</b>	Método de la evaluación de permeabilidad del bioplástico .....	33
<b>Tabla 20-2.</b>	Método de la evaluación de la biodegradación del bioplástico .....	34
<b>Tabla 1-3.</b>	Resultados de la aplicación del diseño factorial <b>22</b> para determinar el mejor rendimiento del almidón de lenteja.....	37
<b>Tabla 2-3.</b>	Análisis de resultados ANOVA para la extracción de almidón de lenteja .....	38
<b>Tabla 3-3.</b>	Resultados del análisis químico proximal del almidón de lenteja.....	39
<b>Tabla 4-3.</b>	Resultados análisis factorial <b>22</b> para la formulación de las biopelículas a partir del almidón de lenteja .....	41
<b>Tabla 5-3.</b>	Análisis de varianza ANOVA para la formulación de bioplásticos con relación al espesor .....	42
<b>Tabla 6-3.</b>	Formulaciones realizadas basándose en el diseño factorial <b>22</b> .....	43

<b>Tabla 7-3.</b>	Resultado de determinación del tratamiento óptimo del diseño experimental del bioplástico. ....	44
<b>Tabla 8-3.</b>	Resultados del ensayo de determinación de humedad de la biopelícula .....	44
<b>Tabla 9-3.</b>	Análisis de varianza ANOVA humedad .....	45
<b>Tabla 10-3.</b>	Resultados del ensayo de solubilidad de la biopelícula .....	46
<b>Tabla 11-3.</b>	Análisis de varianza ANOVA solubilidad.....	46
<b>Tabla 12-3.</b>	Resultados del ensayo de determinación de permeabilidad de la biopelícula .....	48
<b>Tabla 13-3.</b>	Análisis de varianza ANOVA permeabilidad.....	48
<b>Tabla 14-3.</b>	Resultados de la prueba de tracción del bioplástico .....	50
<b>Tabla 15-3.</b>	Resultados de la biodegradación de la biopelícula (Suelo).....	51
<b>Tabla 16-3.</b>	Resultados de la biodegradación de la biopelícula (Aire).....	52
<b>Tabla 17-3.</b>	Resultados de la biodegradación de la biopelícula (agua) .....	53
<b>Tabla 18-3.</b>	Análisis sensorial de la frutilla .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Microfotografía de gránulos de almidón.....	4
<b>Figura 2-1.</b>	Esquema de la amilosa.....	5
<b>Figura 3-1.</b>	Estructura de la amilopectina.....	6
<b>Figura 4-1.</b>	Estructura química de la glicerina.....	9
<b>Figura 5-1.</b>	Estructura química de la glicerina.....	10
<b>Figura 1-2.</b>	Diseño experimental 2k.....	17
<b>Figura 2-2.</b>	Diagrama de flujo del proceso para obtención de almidón de lenteja.....	20
<b>Figura 3-2.</b>	Diagrama de flujo del proceso para formulación del bioplástico.....	21

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3.</b>	Diagrama de Superficie de Respuesta .....	38
<b>Gráfico 2-3.</b>	Diagrama de Pareto Estandarizado para Rendimiento.....	39
<b>Gráfico 3-3.</b>	Diagrama Superficie de Respuesta (Espesor).....	42
<b>Gráfico 4-3.</b>	Bioplástico obtenido.....	43
<b>Gráfico 5-3.</b>	Diagrama de Superficie de Respuesta (Humedad) .....	45
<b>Gráfico 6-3.</b>	Diagrama de Superficie de Respuesta (Solubilidad).....	47
<b>Gráfico 7-3.</b>	Diagrama de Superficie de Respuesta (Permeabilidad) .....	49
<b>Gráfico 8-3.</b>	Análisis del ensayo de tracción .....	50
<b>Gráfico 9-3.</b>	Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (suelo) .....	51
<b>Gráfico 10-3.</b>	Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (aire) .....	52
<b>Gráfico 11-3.</b>	Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (aire) .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Extracción del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO B:** Extracción del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO C:** Caracterización del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO D:** Caracterización del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO E:** Formulación de biopelículas a partir de almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO F:** Caracterización de las biopelículas a partir del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO G:** Determinación de biodegradabilidad de las biopelículas a partir del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO H:** Análisis de aplicación con la frutilla de las biopelículas a partir del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO I:** Informe de prueba de amilosa del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)
- ANEXO J:** Informe prueba de probeta del tratamiento 1
- ANEXO K:** Informe prueba de probeta del tratamiento 2
- ANEXO L:** Informe prueba de probeta del tratamiento 3
- ANEXO M:** Informe prueba de probeta del tratamiento 4
- ANEXO N:** Informe del análisis microbiológico del almidón de lenteja (*Lens culinaris*)

## RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue el desarrollo de una biopelícula a partir de almidón de lenteja (*Lens culinaris*) para el embalaje de alimentos. Se realizó la extracción del almidón, y se basó en un análisis factorial 2k, donde se modificaron las variables de: velocidades en RPM (A y B) y el tiempo de trituración (20-60 s); el procedimiento de extracción se puntualizó en: limpieza de la materia prima, triturado, filtrado, decantado, secado, y tamizado. Una vez adquirido el almidón se procedió a caracterizarlo mediante pruebas físicas, químicas y microbiológicas; la prueba de amilosa se la realizó en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Después se empezó con la formulación de las biopelículas donde se cambiaron las concentraciones en dos variables: glicerina y almidón, por lo que, se realizaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones dando un total de 16 muestras; finalmente se realizaron análisis: tracción, biodegradación, físicos y químicos; las pruebas mecánicas se la realizaron en el Laboratorio de Curtiembres y Fibras Agroindustriales de la ESPOCH. Cuando se examinó el rendimiento de la extracción de almidón se eligió como tratamiento óptimo al que dio un valor total de 120g correspondiente a una velocidad de licuado de 20000 RPM y un tiempo de 60 segundos. De la misma manera el bioplásticos con mejor rendimiento fue aquel correspondiente a los valores de: 3g de almidón y 0.75mL de glicerina. Se concluyó que el almidón proveniente de la lenteja es el idóneo para la formulación de las biopelículas, ya que, cumple el tiempo de degradación estimado y benefició al embalaje de alimentos, evitando la contaminación ambiental. Finalmente se recomienda que para la formulación de láminas biodegradables se realice un estudio previo de la cantidad de almidón presente en la leguminosa con el propósito de facilitar la investigación.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA QUÍMICA>, <LENTEJA (*Lens culinaris*)>, <AMILOSA>, <ALMIDÓN>, <BIOPELÍCULA>, <BIOFILM>.



1683-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

The purpose of this research was the development of a biofilm from lentil starch (*Lens culinaris*) for food packaging. The starch extraction was carried out, and it was based on a 2k factorial analysis, where the variables of: speeds in RPM (A and B) and the crushing time (20-60 s) were modified. The extraction procedure was specified in: cleaning the raw material, crushing, filtering, decanting, drying, and sieving. Once the starch was acquired, it was characterized by physical, chemical and microbiological tests; the amylose test was performed at the National Autonomous Research Institute Agricultural (INIAP). Afterwards, the formulation of biofilms began, where the concentrations were changed in two variables: glycerin and starch, for which reason. Four treatments were performed with four repetitions, giving a total of 16 samples; finally, analyzes were carried out: traction, biodegradation, physical and chemical; the mechanical tests were executed in the Laboratory of Tanneries and Agro-industrial Fibers at ESPOCH. When the performance of the starch extraction was examined, the optimal treatment was chosen as the one that gave a total value of 120g corresponding to a liquefying speed of 20000 RPM and a time of 60 seconds. In the same way, the bioplastic with the best performance was the one corresponding to the values of: 3g of starch and 0.75mL of glycerin. It was concluded that the starch from lentils is ideal for the formulation of biofilms, since it meets the estimated degradation time and benefited food packaging, avoiding environmental contamination. Finally, it is recommended that for the formulation of biodegradable film, a previous study of the amount of starch present in the legume must be carried out, to facilitate the investigation.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING>, <LENTIL (*Lens culinaris*)>, <AMYLOSE>, <STARCH>, <BIOFILM>, <BIOFILM>.

NANCI  
MARGARI  
TA INCA  
CHUNAT  
A

Firmado  
digitalmente  
por NANCI  
MARGARITA  
INCA CHUNATA  
Fecha:  
2021.09.20  
14:22:26 -05'00'



## INTRODUCCIÓN

En lo que se lleva del año se han producido más de 8 mil millones de toneladas de plástico y cada año llega al océano un 10% de lo que se produce. Este material atrapa animales marinos y causando, además, contaminación en el ambiente provocando así una gran preocupación a escala mundial acerca del uso de todos aquellos productos que son derivados del petróleo (Gibbens, 2020, p.2).

En el Ecuador se llegan a producir alrededor de 1 millón de toneladas al año de plástico que se puede considerar desperdiciable, además que, la cantidad de productos plásticos que se encuentran en el país son en su mayoría provenientes del exterior y éstas vienen en forma de envases que se utilizan para consumo alimenticio.

Conforme el problema aumenta, también se ha visto un incremento en diversas ramas de la investigación, tanto científicos como tecnológicos que ofrecen la oportunidad de dar un cambio al mal uso, mal hábito y abuso de material plástico. Se han planteado varios métodos que resultan ser novedosos y se dedican al cuidado del medio ambiente por medio de procesos químicos y biotecnológicos con la finalidad de obtener lo que se ha denominado “biofilms”, “biopelículas” o “bioplásticos”. En el transcurso del tiempo se ha ido comprobando la validez de los denominados “biofilms” resultando tener entre sus componentes de fabricación materiales como: antioxidantes, plastificantes y sobretodo almidón; sin embargo, en el mismo almidón resulta ser de gran importancia tener el conocimiento de características como: pH, permeabilidad, solubilidad, porcentaje de amilosa y porcentaje de amilopectina; que puedan permitir la elaboración de un biofilm con características aptas para las necesidades planteadas, mejorando la vida comercial y de calidad (AIMPLAS, 2010, p.2).

Se van a realizar formulaciones en diversas cantidades con el almidón como base donde se añadirá aditivos que traerán los datos necesarios que serán validados en un paquete estadístico, este biofilm se caracterizará y tendrá como uso principal la conservación de alimentos siendo comparado con una muestra sin ser cubierta por este producto, además de indagar en su tiempo de biodegradación.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Al querer buscar datos sobre la lenteja, su almidón y el uso de esta para la elaboración de bioplástico nos topamos con una pared, puesto que, aún no se han realizado estudios con dicha leguminosa, sin embargo, se puede hacer un comparativo general con artículos relacionados al tema donde se utilizan procedimientos similares.

Según el trabajo de (Holguin, 2019, p.40) cuando se trata de la caracterización, el almidón se podrá evaluar en varias propiedades que hacen conocer su aplicación en varios procesos como:

- **pH:** el pH es una propiedad de suma importancia cuando de caracterización del almidón se trata, puesto que, dicha propiedad da la predisposición de aceptar o ceder moléculas de H. Por lo general el pH del almidón para la formulación de bioplástico se encuentra en una media en 7 – 7.5 (Holguin, 2019, p.31).
- **Solubilidad:** dependiendo de la cantidad de amilosa y amilopectina que tiene el almidón éste puede llegar a disolverse en el agua cuando llegase a estar a temperaturas superiores a la de gelatinización (Holguin, 2019, p.29).
- **Absorción:** es la capacidad que tiene el almidón de absorber el agua. Esta propiedad se encuentra estrechamente ligada a la temperatura de gelatinización, puesto que, mientras mayor sea la temperatura de gelatinización mayor será la capacidad de retener agua (Holguin, 2019, p.29).
- **Viscosidad:** se considera como la resistencia que posee una molécula al deformarse (Holguin, 2019, p.30).
- **Sinéresis:** es la propiedad que tiene el almidón para liberar agua. La liberación de agua hace que las moléculas de amilosa y amilopectina se reagrupen como producto de retrogradación (Holguin, 2019, p.29).
- **Gelatinización:** es el proceso en el que el almidón se mezcla con el agua produciendo un hinchamiento, lo que llega a formar una pasta (Holguin, 2019, p.30).

Según (Holguin, 2019, p.31) la velocidad de secado así como la temperatura son variables que afectan propiedades importantes como elasticidad de la biopelícula, de manera que, cuando se realiza un secado rápido con una temperatura alta el material resultante no tiene fuerza y le puede romper con facilidad.

## 1.2. Marco teórico

### 1.2.1 Lenteja

La lenteja es una leguminosa que cuenta con grandes beneficios para la salud de las personas, cuentan como una excelente fuente de energía, además de ser de fácil conservación. La lenteja es rica en proteínas y aminoácidos (Palou, 2017, párr.3-10). En cada 100 gramos de lenteja se tiene:

- 50 % almidón
- 23 % proteínas
- 1.7 gramos en lípidos
- 88 calorías
- 7.8 gramos en fibra
- 19 mg de calcio
- 3.3 mg de hierro
- 32 mg de magnesio
- 1.4 mg de zinc
- 100 mg de fósforo

Además de todo de enlistado la lenteja también posee vitaminas donde se puede nombrar:

- 0.13 mg tiamina
- 0.6 mg niacina
- 0.18 mg vitamina B6
- 60 mcg de ácido fólico

Al conocer sobre los orígenes de la lenteja encontramos la siguiente taxonomía:

**Tabla 1-1.** Clasificación taxonómica de la lenteja

REINO	Plantae
FILUM	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliosida
ORDEN	Fabales
FAMILIA	Fabaceae
GÉNERO	<i>Lens</i>
ESPECIE	<i>Lens culinaris</i>

**Fuente:** (García, 2017, párr.1).

### 1.2.1.1. Tipos de lenteja

Como todas las especies de leguminosas la lenteja también cuenta con varias presentaciones.

**Tabla 2-1.** Tipos de Lentejas

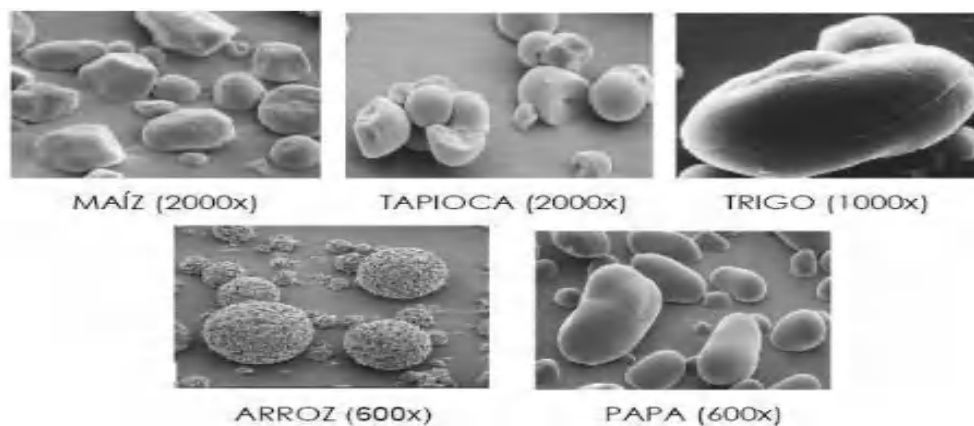
Nombre	Descripción
Pardinas	Grano pequeño de color marrón terroso.
Urad Dhal	Uso tradicional en Oriente Medio de color negro.
Beluga	También llamada lenteja caviar. Tiene un gran valor protéico, de forma circular y color café oscuro
Castellana	Su origen se encuentra en Castilla y León - España. De color marrón verdoso.
Verde de Puy	Su tono puede variar entre verde y amarillo.
Masoor Dhal	Lenteja que se cultiva en Canadá y llega a tener un tono rojizo.

Fuente: (Navarro, 2019, párr.1-6).

### 1.2.3. Almidón

El almidón tiene un origen vegetal y yace su importancia en la función de producir reservas de energía que se utilizarán posteriormente para el desarrollo de la planta. Por lo general se encuentra en tallos, granos y sobretodo en tubérculos. Al no ser extraído de cereales también se lo puede denominar “fécula” (Holguin, 2019, párr.3).

El almidón es un polisacárido que puede tener varias formas y tamaños que puede oscilar entre 0.5 a 100 micrómetros.



**Figura 1-1.** Microfotografía de gránulos de almidón

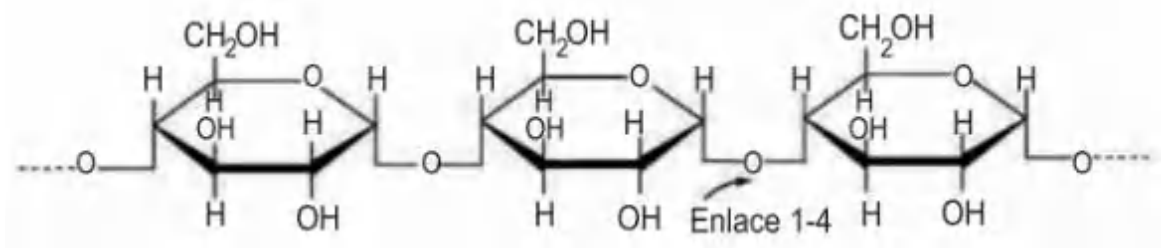
Fuente: (Holguin, 2019, párr.7).

El almidón se encuentra formado por polímeros constituidos en 2 homopolímeros que, por lo general se encuentran en una relación 80 – 20 de amilosa y amilopectina respectivamente. Un almidón que posea un alto valor de amilosa puede llegar a producir biopelículas fuertes y un almidón con gránulos diminutos puede servir para relleno de películas de polietileno idóneos (Vera, 2011, pp.7-9).

La amilosa y amilopectina son macromoléculas que se pueden llegar a caracterizar por el grado de polimerización o ramificación afectando de esta manera cómo se pueden comportar en procesos de degradación (Aristizábal, 2007, pp.33-36).

### 1.2.3.1. Amilosa

Es un polímero lineal con moléculas de glucosa que están unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1-4), alrededor de 1000 unidades de glucosa por molécula de almidón es lo que diferencia a los tipos de almidones, estas moléculas de amilosa tienen la forma de una espiral. Los extremos de la macromolécula pueden ser tomados como un anomérico libre donde se encuentra un hidroxilo de carbono, llamándose extremo reductor y el extremo opuesto o no reductor va a formar parte del enlace glucosídico (Aristizábal, 2007, p.33).



**Figura 2-1.** Esquema de la amilosa

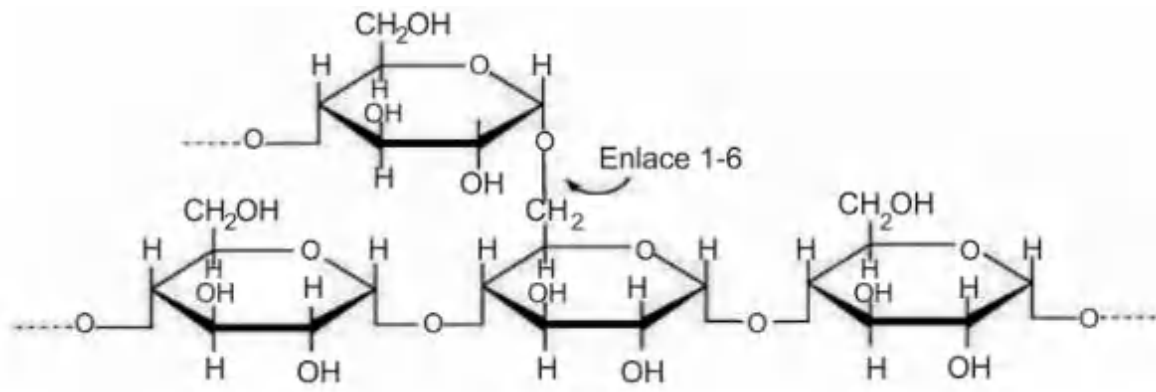
**Fuente:** (Aristizábal, 2007, p.33).

La gran cantidad de (OH) da al polímero propiedades hidrofílicas, dando así afinidad al agua, sin embargo, al mismo tiempo también se da un efecto contrario reduciendo la afinidad al agua debido a la linealidad con la que se une esta molécula, ya que, se forman puentes de hidrógeno por lo estrecho de la unión (Aristizábal, 2007, p.34).

La amilosa presente en moléculas orgánicas como alcoholes alifáticos o ácidos grasos forma muchos complejos insolubles. La amilosa posee afinidad por el yodo y posee moléculas con segmentos hidro: fílicos y fóbicos (Aristizábal, 2007, p.34).

### 1.2.3.2. Amilopectina

Es un polímero de disposición lineal y ramificada unidas por enlaces  $\alpha$ -D-(1-4) en uniones lineales y  $\alpha$ -D-(1-6) en las uniones ramificadas. La amilopectina está constituida más o menos 100 000 moléculas de glucosa teniendo un 6% de enlaces  $\alpha$ -D-(1-6) (Alcázar, 2015, p.215).



**Figura 3-1.** Estructura de la amilopectina

**Fuente:** (Aristizábal, 2007, p.34) .

Debido al tamaño y naturaleza ramificada, la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros dando resistencia a gelificarse cuando se lo almacena. Cuando se trata de la formación de biopelículas la amilopectina no ofrece ni dureza ni flexibilidad como la amilosa.

**Tabla 2-1.** Propiedades de los componentes del almidón

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	Aprox. 1000	20-25
Peso molecular	40 000	200 000
Grado de polimerización	Aprox. 1000	10 000 – 100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrógrada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la B-amilasa	Casi completa	Cerca del 60%
Reacción con yodo	19 - 20 %	5 - 9 %
Color con la solución con yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox. 660	530 - 550

**Fuente:** (Aristizábal, 2007, p.36).

### 1.2.3.3. Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades que tiene el almidón y como ésta se puede utilizar en diferentes procesos depende de manera directa del vínculo entre la amilosa y la amilopectina; además que, se tiene en consideración que la mejor manera de considerar al almidón para un uso industrial es de imperativa importancia conocer los factores genéticos, edad y época de cosecha de la planta de la cual se desea extraer el almidón, así como también conocer fertilidad que posee el suelo (Aristizábal, 2007, p.35).

De las propiedades más importantes que van a determinar el uso del almidón se tiene a las propiedades físico-químicas en donde se puede entrar un análisis proximal y características del gránulo. De manera general se tiene en cuenta que la cantidad de proteína en el almidón da olor y sabor por sobre todo a los cereales, además que, hace que llegue a formar espuma. La cantidad de lípidos en cereales y maíz es mayor que en la papa y yuca (Aristizábal, 2007, p.33). Con la finalidad de dar un breve resumen a las características en ciertos alimentos se da conocer la siguiente tabla:

**Tabla 1-1.** Tipos de lentejas

<b>Almidón</b>	<b>Tipo</b>	<b>Morfología</b>	<b>Amilosa %</b>	<b>T gelatinización</b>	<b>T gelificación</b>
Trigo	Cereal	Redondo lenticular	25	58-64	77
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	19	68-78	81
Maíz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	Menor a 1	63-72	74
Yuca	Cereal	Ovalado truncado	17	62-73	63
Maíz	Cereal	Redondo poligonal	25	62-72	80
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	20	59-68	64

Fuente: (Aristizábal, 2007, pp.33-35).

### 1.2.3.4. Aplicaciones industriales del almidón

- **Plásticos:** Procesamiento de productos no deseables como vasos y vajilla en general y ser el sustituto en su totalidad por ser un producto biodegradable.

- **Alimenticia:** Preparación de edulcorantes, uso en repostería siendo el sustituto de la tradicional harina de trigo, espesante en mermeladas y fermentación para bebidas alcohólicas (Alimentarios, 2011, pp.33-35).
- **Petrolera:** Floculante selectivo en minas de potasio.
- **Química:** Preparación de pegamentos.
- **Textil:** Pastas para planchar a partir del almidón y confección de ropa (Guamán, Jenny 2019).

#### 1.2.4. Biopolímeros

Se puede considerar biopolímero, biofilm o bioplástico (BPL) a los materiales plásticos que se pueden certificar que se pueden llegar a degradar de manera natural en un corto período de tiempo y tiene origen de materiales orgánicos y renovables (animal o vegetal); estos biofilms forman parte de un grupo más pequeño de lo que se consideran “plásticos biodegradables” (EDP) teniendo en cuenta que su degradación se da con ayuda de microorganismos (Álvarez, 2016, p.13).

En la actualidad la capacidad de producción de los bioplásticos es por mucho inferior a los que son derivados del petróleo de manera que es difícil encontrar una producción a escala industrial, sin embargo, se puede afirmar que en un futuro debido a la necesidad la producción de plásticos biodegradables sustituirá a la de origen sintético hasta un 12% (ECOEMBES, 2009, pp.4-6).

De manera resumida se puede considerar a un biopolímero como un plástico biodegradable donde su descomposición se da por ayuda de microorganismos como hongos y bacterias que finalmente llegan a generar dióxido de carbono, agua y otros biomateriales (NTE INEN 2636, 2012, pp.2-4).

##### 1.2.4.1. Clasificación de bioplásticos

Se pueden llegar a clasificar de acuerdo al proceso de fabricación:

- **Polímeros removidos directamente de la biomasa:** estas pueden ser de proteínas como colágeno, queratina y caseína. La más común es por la formación de polisacáridos como el almidón.
- **Producidos por síntesis química de fuentes renovables:** así tenemos a los formados por: ácido poliláctico, glicoles.
- **Producidos por bacterias productoras naturales o modificadas y microorganismos:** aquí tenemos a Polihidroxialcanoatos (FAO, 1999, pp.3-4).

Para decir que una biopelícula tiene buena calidad, se considera lo siguiente:

- **Espesor:** como desempeño físico-mecánico del bioplástico, el espesor es una característica de suma importancia.



- **Permeabilidad:** de esta característica depende la transferencia de humedad.
- **Solubilidad:** característica del bioplástico donde se disuelve en otra sustancia.
- **Deformación en la tensión:** es la elongación o capacidad de estirarse hasta su punto de quiebre.
- **Módulo de elasticidad:** indica la rigidez que tiene el material (Nárvaez, 2016, p.8).

### 1.2.5. Plastificantes y Aditivos

Son los componentes añadidos en una sustancia que afectan propiedades físico-mecánicas dando un cambio a la estructura del biofilm. Los plastificantes dan un aumento en la flexibilidad debido a que reducen las fuerzas intermoleculares (Tubón, 2013, p.24).

#### 1.2.5.1. Glicerina

Es un plastificante que por sobretodo se lo encuentra en estado líquido, de contextura viscosa, inodoro e incoloro con una baja volatilidad. Este componente ayuda a obtener mayor flexibilidad, además confiere propiedades de suavidad y uniformidad, haciendo que se disminuya la velocidad de degradación, añadiendo la propiedad lubricante lo que proporciona el movimiento de cadenas poliméricas (Parra, 2019, p.16).

La glicerina dentro de la fórmula para elaborar biofilm provoca que incremente la permeabilidad al vapor debido a la naturaleza hidrofóbica formando a nivel molecular puentes de hidrógeno con las moléculas del agua (Enríquez, 2012, pp.186-187).

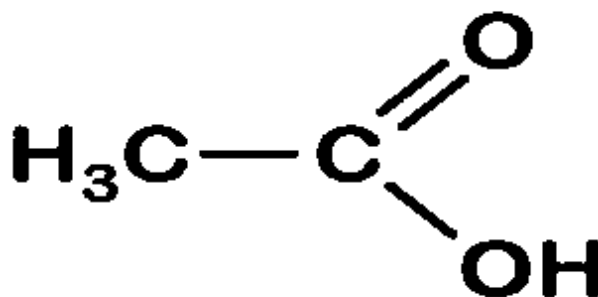


**Figura 4-1.** Estructura química de la glicerina

**Fuente:** (Parra, 2019, p.16).

### 1.2.5.2. Ácido acético

Conocido coloquialmente como vinagre, siendo el resultado del proceso de fermentación en condiciones aeróbicas. Se lo utiliza como componente en productos antimicrobianos, así como en tecnologías de conservación (Guamán, 2019, p.19).



**Figura 5-1.** Estructura química de la glicerina

**Fuente:** (Guamán, 2019, p.19).

### 1.2.6. Biodegradación

Se dice que un material se descompone cuando sucumbe a acciones enzimáticas de microorganismos produciendo dióxido de carbono, gas metano, agua, además de otros componentes orgánicos. Además, que también tiene cambios físicos evidentes donde se observa la pérdida de las propiedades (Meza, 2016, p.64).

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Objetivos

##### 2.1.1. *Objetivo General*

Obtención de una lámina biodegradable a partir de la lenteja (*Lens culinaris*) para el embalaje de alimentos.

##### 2.1.2. *Objetivos Específicos*

- Obtener almidón a partir de la lenteja (*Lens culinaris*) mediante método seco.
- Caracterizar el almidón obtenido mediante pruebas físico-químicas.
- Identificar la mezcla óptima de almidón y aditivos para la elaboración de las láminas biodegradables.
- Determinar el tiempo de vida útil de los alimentos cubiertos con la lámina biodegradable obtenida.

#### 2.2. Hipótesis y especificación de variables

##### 2.2.1. *Hipótesis General*

La materia prima obtenida a partir de almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) será la indicada para formular y obtener una lámina biodegradable cuyas propiedades y características permitan la conservación de los alimentos.

##### 2.2.2. *Hipótesis Específicas*

**H1:** El mayor porcentaje de almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) se obtiene utilizando el método seco.

**H2:** El contenido de amilopectina presente en el almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) influirá en la formulación de las láminas biodegradables.

**H3:** Los porcentajes de almidón y aditivos influyen en la formulación de láminas biodegradables.

**H4:** La lámina biodegradable obtenida con la mejor formulación es capaz de mantener las propiedades organolépticas de un alimento permitiendo así la conservación de este.

### 2.2.3. *Identificación de variables*

**Tabla 1-2.** Variables dependientes e independientes para la obtención de almidón a partir de Lenteja (*Lens culinaris*) y obtención de láminas biodegradables

<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>
Obtención del almidón	<ul style="list-style-type: none"><li>• Revoluciones por minuto</li><li>• Tiempo de licuado.</li></ul>
Formulación del bioplástico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Porcentaje de almidón.</li><li>• Porcentaje de glicerina.</li></ul>

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021

#### 2.2.4. Operacionalización de variables

**Tabla 2-2.** Operacionalización de variables en la obtención del almidón y en la formulación de la biopelícula

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Categorización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método / Técnica / Instrumento de medición</b>
<b>Almidón</b>	Dependiente	Consiste en romper paredes celulares que permiten la liberación de polisacáridos mediante métodos de rallado, decantación y filtrado.	Pruebas en el laboratorio	Porcentaje de amilosa y amilopectina	Análisis proximal
<b>Revoluciones por minuto</b>	Independiente	Unidades de frecuencia que mide el número de giros por unidad de tiempo de licuado.	Licuado de lenteja	Velocidades de licuado baja y alta (rpm)	Velocidades de la licuadora
<b>Tiempo de licuado</b>	Independiente	Conversión de una estructura sólida midiendo la trituración de esta.	Obtención de almidón	Segundos (s)	Cronómetro
<b>Formulación de láminas biodegradables</b>	Dependiente	Película elaborada a base de material biodegradable capaz de formar una lámina delgada.	% de formulación	Degradación y compostaje	Pruebas físico-mecánicas
<b>Porcentaje de almidón</b>	Independiente	Capacidad de gelificar, mejorando la forma y moldeado de la biopelícula.	Almidón obtenido de la caracterización	Peso (g)	Balanza
<b>Porcentaje de plastificante</b>	Independiente	Sustancia capaz de incrementar la maleabilidad, flexibilidad, dureza, resistencia al impacto, disminuir la fragilidad evitando la formación de grietas.	Plastificante, elasticidad	Volumen (mL)	Pipeta

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

2.2.5. *Matriz de consistencia*

**Tabla 3-2.** Matriz de consistencia

<b>ASPECTOS GENERALES</b>				
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>		<b>Hipótesis general</b>	
Contaminación elevada a partir de plásticos derivados del petróleo	Obtener una lámina biodegradable a partir de la lenteja (Lens culinaris) para el embalaje de alimentos.		La materia prima obtenida a partir de almidón de Lenteja (Lens culinaris) será la indicada para formular y obtener láminas biodegradables cuyas propiedades y características permitan la conservación de los alimentos.	
<b>ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>				
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variables de las hipótesis específicas</b>	<b>Técnicas de recolección de datos</b>
Uso excesivo de plásticos derivados del petróleo para el uso en alimentos	Obtener almidón a partir de la lenteja (Lens culinaris) mediante un método húmedo.	El mayor porcentaje de almidón de Lenteja (Lens culinaris) se obtiene utilizando el método seco.	<b>Variable Dependiente:</b> Obtención de almidón  <b>Variables Independientes:</b> Tiempo de Licuado Revoluciones por minuto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Amilosa</li> <li>• Amilopectina</li> <li>• densidad</li> <li>• viscosidad</li> <li>• T° de gelatinización</li> <li>• Índice de solubilidad</li> <li>• Humedad</li> <li>• Ceniza</li> <li>• Fibra</li> <li>• Proteína</li> <li>• Carbohidratos totales</li> <li>• Hongos</li> <li>• Levaduras y mohos</li> </ul>
	Caracterizar el almidón obtenido mediante pruebas físico-químicas.	El contenido de amilopectina presente en el almidón de Lenteja (Lens culinaris) influirá en la formulación de las biopelículas.		

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales</li> <li>• Espesor</li> <li>• Transparencia</li> <li>• Peso</li> <li>• Estabilidad</li> </ul>
¿Las biopelículas presentan la calidad permitida para su uso?	Identificar la mezcla óptima de almidón y aditivos para la elaboración de las láminas biodegradables.	Los porcentajes de almidón y aditivos influyen en la formulación de láminas biodegradables.	<p><b>Variable Dependiente:</b> Formulación de láminas biodegradables</p> <p><b>Variables Independientes:</b> Porcentaje Almidón Porcentaje de plastificante</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales</li> <li>• Transparencia</li> <li>• Levaduras y mohos</li> <li>• Hongos</li> <li>• Elasticidad</li> <li>• Tención</li> <li>• Flexión</li> </ul>
	Determinar el tiempo de vida útil de los alimentos cubiertos con la lámina biodegradable obtenido.	La lámina biodegradable obtenida con la mejor formulación es capaz de mantener las propiedades organolépticas de un alimento permitiendo así la conservación de este.		

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

## **2.3. Tipo y diseño de investigación**

### **2.3.1. Tipo de investigación**

#### ***Según el método de investigación:***

Según la investigación es cuantitativa ya que utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis, con base a un análisis estadístico, para establecer parámetros de comportamiento con la finalidad de probar teorías.

#### ***Según el objetivo de investigación:***

Según el objetivo de investigación es aplicada ya que se utilizan los conocimientos obtenidos a lo largo de la formación académica en la práctica, teniendo como resultado beneficios a la sociedad.

#### ***Según el nivel de profundización en el objeto de estudio:***

Según el nivel de profundización en el objeto de estudio se trata de una investigación descriptiva ya que se busca indicar propiedades importantes y relevantes del objeto a estudiar. Requiere de un considerable conocimiento en el área que se investiga para poder formular y responder preguntas específicas.

#### ***Según la manipulación de variables:***

Según la manipulación de variables es una investigación experimental ya que se debe manipular variables con la finalidad de comprobar una hipótesis planteada, con el fin de describir porque se produce una situación en particular.

#### ***Según el tipo de inferencia:***

Según la inferencia es una investigación estadística ya que se describen datos y este debe tener un impacto en la sociedad.

### **2.3.2. Diseño experimental de la investigación**

La presente investigación se basa en un diseño factorial 2k tanto para la obtención del almidón y para la formulación del bioplástico.

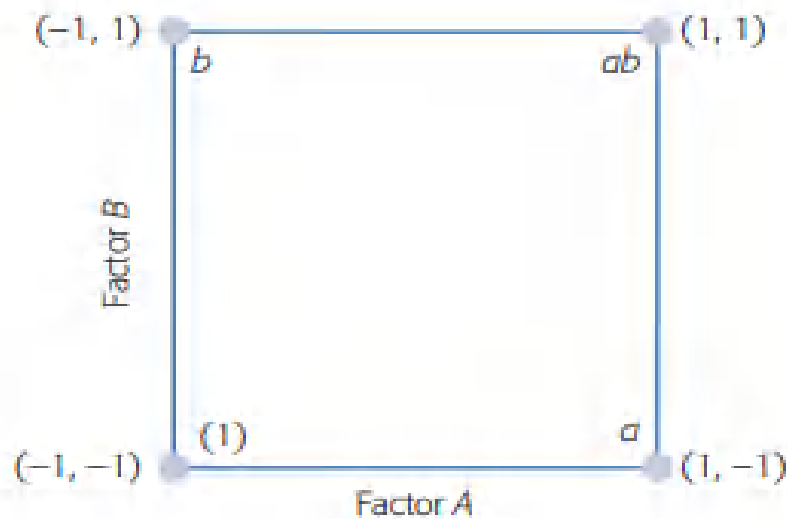


### 2.3.2.1. Diseño factorial $2^k$ para la obtención del almidón de lenteja

Con un diseño factorial  $2^k$  se estudia el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno. Cada réplica de este diseño consiste  $2 \times 2 = 4$  combinaciones o tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras. Algunas de estas notaciones se utilizan en situaciones muy particulares; por ejemplo, la notación  $+1, -1$  es útil a la hora de hacer los cálculos para ajustar por mínimos cuadrados un modelo de regresión a los datos; es la notación que utilizan los paquetes Statgraphics y Minitab (Ferré, 2002, pp.1-3).

La notación de signos  $+, -$  es muy práctica para escribir las matrices de diseño; esta notación, combinada con la de Yates permite representar y calcular fácilmente los efectos de interés. La notación con letras  $A+, A-$  se utiliza para escribir, al final del análisis del experimento, el mejor punto o tratamiento ganador que se ha encontrado (Ferré, 2002, pp.1-3).

La notación de Yates [(1), a, b, ab] tiene un significado diferente a las demás: con ella se representa el total o la suma de las observaciones en cada tratamiento, más que al tratamiento mismo. Hay que observar que la lógica de la notación de Yates es la siguiente: si una letra minúscula está presente, entonces el factor correspondiente se encuentra en su nivel alto; si está ausente, el factor está en su nivel bajo; por ejemplo, ab se refiere al tratamiento en el que los factores A y B están en su nivel alto (Ferré, 2002, pp.1-3).



**Figura 1-2. Diseño experimental  $2^k$**

Fuente: (Ferré, 2002, p.3).

**Tabla 4-2. Variables**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Tratamientos	
Obtención de almidón a partir de lenteja ( <i>Lens culinaris</i> )	Tiempo de Licuado(s) 20 60	T1	20 (s) ; baja
		T2	20 (s) ; alta
	Rpm Baja Alto	T3	60 (s) ; baja
		T4	60 (s) ; alta

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.3.2.2. Diseño factorial 2k para la formulación de biopelícula a partir del almidón de lenteja

Los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y, los niveles de dichos ingredientes no son independientes. Existen muchos problemas reales y de investigación que involucran productos que resultan al mezclar diferentes componentes. Por ejemplo: bebidas, medicamentos, detergentes, pinturas, resinas, gasolinas, cementos, etc., están formados por una mezcla de distintos ingredientes o componentes. En general, se supone que las características de calidad de la mezcla dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos.

Entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

Al planear un experimento con mezclas se decide, en función de lo que se conoce del problema y del objetivo, las mezclas que se probarán para que al analizar los resultados se logren responder las preguntas planteadas. Es decir, no se trata de producir las formulaciones que se le ocurran al experimentador y llevar a cabo una investigación a prueba y error, sino aplicar una metodología de planeación y análisis que asegure obtener conocimiento y soluciones.

**Tabla 5-2. Variables de formulación**

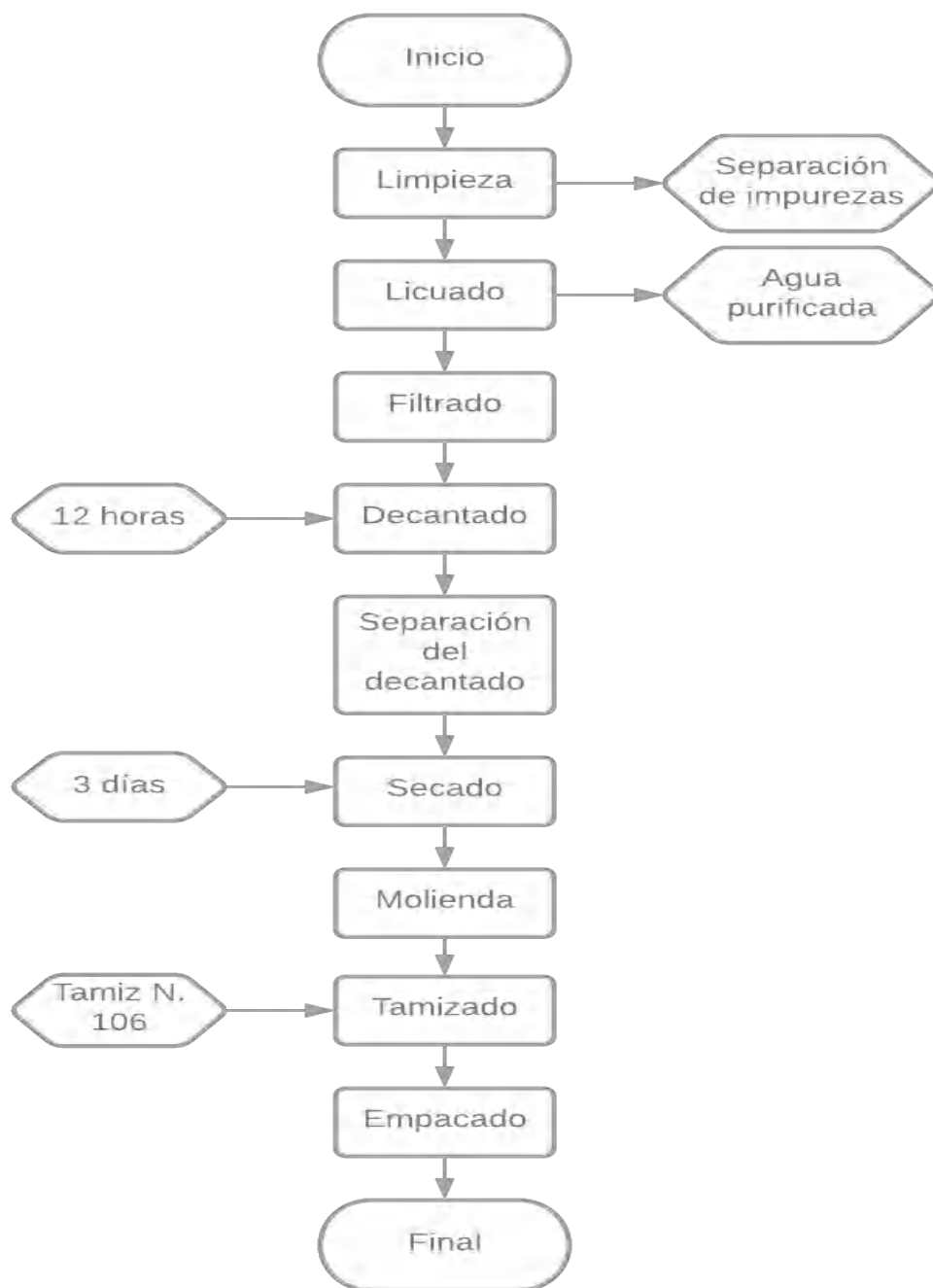
Variable Dependiente	Variable Independiente	Tratamientos	
Formulación de la lámina biodegradable	Porcentaje de Almidón 80 90	T1	80 ; 20
		T2	80 ; 10
		T3	90 ; 20

	Porcentaje de Plastificante	20	T4	90 ; 10
		10		

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

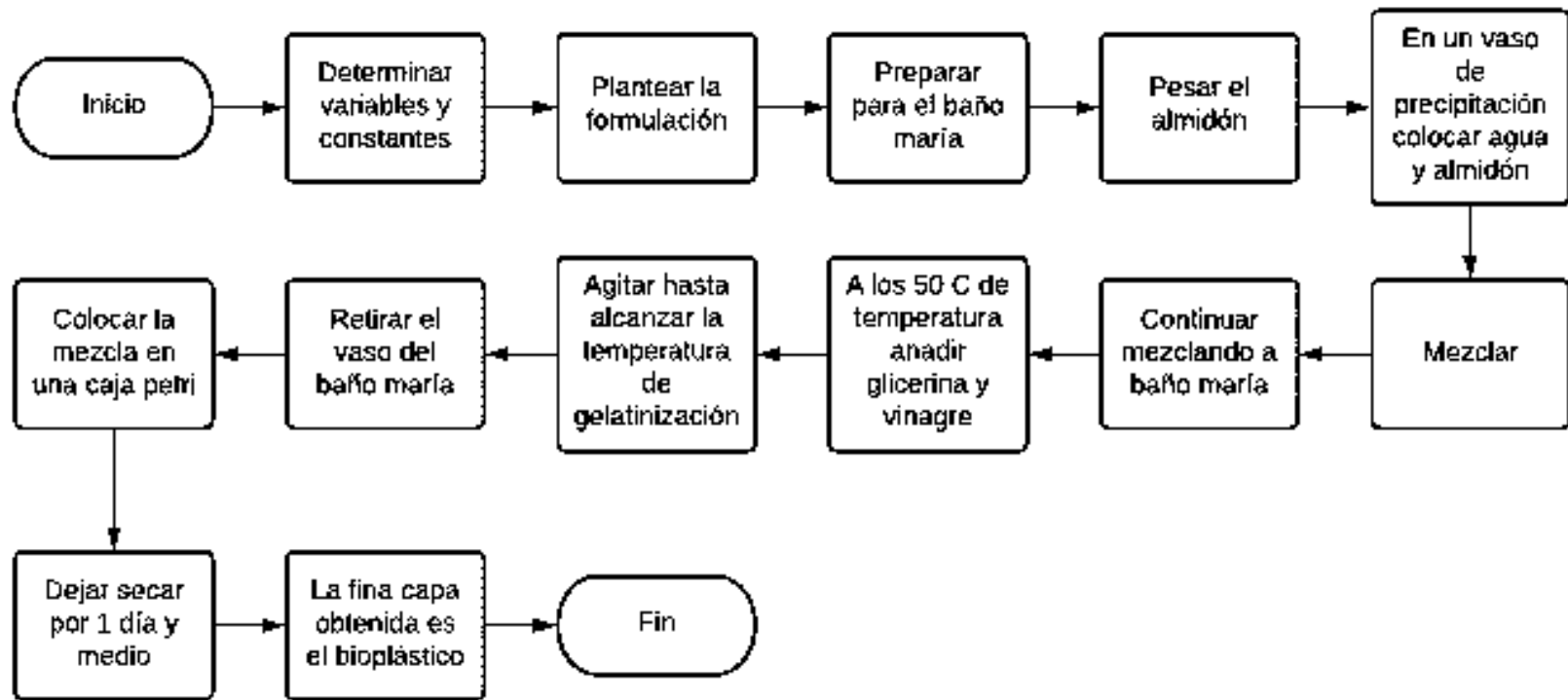
Para la preparación de las biopelículas se sigue el proceso plasmado en el diagrama de flujo de la Figura 3-2 durante todas las repeticiones de la formulación del bioplástico se mantuvo constante el valor en mL de vinagre y agua.

El diseño de esta investigación se basa también en la caracterización del almidón obtenido, dicho trabajo es realizado en el laboratorio de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Ciencias, en la cual a través del método seco se extrae el almidón y mediante pruebas y físicas se cataloga las mejores propiedades que de él se obtengan, a continuación, se muestra en la Figura 2-2.



**Figura 2-2.** Diagrama de flujo del proceso para obtención de almidón de lenteja

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.



**Figura 3-2.** Diagrama de flujo del proceso para formulación del bioplástico

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### **2.3.3. Descripciones de materia prima, reactivas, materiales y equipos**

El trabajo de investigación de Integración Curricular se lo realiza eficientemente por medio del uso de los materiales y equipos que se encuentran disponibles en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ciencias; uso que se realiza con la finalidad de la obtención de datos, caracterización y formulación de la biopelícula, teniendo como materia prima a la lenteja. Posteriormente de detallan los materiales y equipos utilizados:

#### **2.3.3.1. Equipos:**

- Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001 mg.
- Estufa, marca ESCO, modelo Isotherm OFA-54-8, Máx. Temperatura. 300 °C / 572 °F, volumen 115 L, serial 2015-T01866.
- Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temperatura 1200 °C (2192 °F), Serie: 0146448301170117.
- Viscosímetro PCE-RVI 10, rango de medición de 1 a 2.000.000 mPa·s, tiene una precisión de ±1,0 %. Precisión: ±1,0 % del fondo escala ajustado.
- pHmetro Orion Star-A1215, los Medidores de Banco de pH Thermo Scientific Orion Star A111 combinan sencillez con precisión para aplicaciones específicas de pH, rango: -2.00 a 16.00.
- Licuadora.
- Agitador magnético con placa calefactora, marca THERMO FISHER SCIENTIFIC, rango de velocidad 60-1110 1/min, Máx. Temp. 450 °C, serial C1928150309077.
- Reverbero, marca Haceb, serial 47106

#### **2.3.3.2. Materiales:**

- Lenteja.
- Varilla de agitación.
- Crisoles, cápsulas de porcelana
- Probetas de 10 mL, 50 mL, 100 mL.
- Vasos de precipitación de vidrio de 100 mL, 250 mL, 500 mL.
- Papel filtro.
- Espátula.
- Reverbero, malla.

- Bandejas y papel de aluminio
- Torre de tamices hasta el tamiz N°106
- Estilete
- Cajas petri
- Fundas de cierre hermético

#### *2.3.3.3. Reactivos:*

- Agua destilada
- Glicerina
- Ácido acético

### **2.4. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis principal en la presente investigación es la obtención de Almidón a partir de lenteja (*Lens culinaris*), mismo que será caracterizado utilizando métodos físico-químicos como: pH, densidad, viscosidad, humedad; análisis microbiológicos dentro de los cuales se puede destacar coliformes totales, mohos y análisis proximal.

Una vez obtenido el almidón se procede a la formulación de la lámina biodegradable con plastificantes, dicha lámina será capaz de mantener y preservar las propiedades organolépticas de los alimentos.

### **2.5. Población de Estudio**

La población de estudio (lenteja) será elegida al azar.

### **2.6. Tamaño de Muestra**

Para el presente trabajo se utilizará un total de 5 kg de lenteja (*Lens culinaris*) utilizando método seco se pretende extraer la mayor cantidad de almidón posible, mismo que posteriormente será caracterizado con la finalidad de conocer el porcentaje de amilopectina responsable de la cristalinidad de la lámina biodegradable.

## 2.7. Técnicas de Recolección de Datos

Para el presente trabajo se utilizará dos diseños experimentales mismos que permitirán recolectar datos que validen el objeto principal formulación de la lámina biodegradable a base de lenteja (*Lens culinaris*). Dentro de los cuales se puede destacar:

### 2.7.1. Técnica de extracción del almidón

Para la extracción del almidón de lenteja (*Lens culinaris*), se lo realizó mediante método seco, y se describe a continuación el proceso basado en el diagrama de flujo de la Figura 2-2 cabe destacar que la extracción del almidón se la realizó en casa.

- Limpieza: Se lo realiza con la finalidad de descartar todo lo que no pertenezca a la materia prima. Con la finalidad de evitar cualquier tipo de contaminación.
- Licuado: El licuado se hizo en una licuadora marca OSTER que tiene dos velocidades; además de las dos velocidades se tomaron dos tiempos que fueron 20 y 60 segundos. Esta operación se utilizó para triturar una mezcla de lenteja y agua donde con sus respectivas repeticiones se hizo determinar el rendimiento máximo de extracción de almidón. El proceso en general llevó a colocar 200gramos de lenteja con 1litro de agua; el agua a utilizar debe ser purificada para evitar cualquier tipo de contaminación.
- Filtrado: La operación de filtración se realizó mediante un filtro de tela, específicamente se trató de una media nylon. El filtrado en concreto sirvió para separar lo licuado con el agua para posteriormente ser colocado en vasos de plástico.
- Decantado: Este paso es de suma importancia ya que el almidón tiende a sedimentarse en el fondo del vaso, hay la presencia de agua que queda como sobrenadante. Para que se de una correcta separación del almidón con el agua se debe esperar a que la sedimentación se de en un lapso de 12 horas para finalmente retirar esa agua sobrenadante.
- Secado: Cuando el almidón se ha separado completamente del agua éste se lo coloca en bandejas de aluminio donde se lo procede a secar. El secado se puede dar de dos maneras, el primero de manera natural en donde se llegará a secar alrededor de cuatro días dependiendo del clima; sin embargo, existe una segunda opción que es el secado en un horno donde manteniendo la temperatura promedio de 40 grados centígrados el proceso puede llegar a demorar alrededor de 6 horas.
- Molienda: Como resultado del secado se da a notar que las partículas son más grandes que las necesitadas para realizar el producto final por lo que con la ayuda de un procesador de alimentos se procedió a disminuir el diámetro de la partícula hasta tener una consistencia parecida a la del azúcar impalpable.



- Tamizado: Es la parte esencial del estudio, ya que, dependiendo del tamizado se puede realizar una biopelícula de calidad. Para propósitos del trabajo se llegó a tamizar hasta la malla número 106 de la torre de tamices, malla adquirida en el Laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH.
- Empacado: Finalmente con el propósito de evitar que la humedad entre en un almidón tamizado el producto es colocado en fundas de cierre hermético.

### 2.7.2. Caracterización del almidón, determinación de análisis proximal

#### 2.7.2.1. Prueba de pH:

**Tabla 6-2.** Método de la evaluación de pH

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las pruebas se realizan por triplicado.</li> <li>• Pesar 5 gramos de almidón con 25 mL de agua destilada.</li> <li>• Dejar 30 min en el shaker para la agitación.</li> <li>• Sedimentar por 20 min.</li> <li>• Toma el sobrenadante.</li> <li>• Medir el pH.</li> </ul>
<b>CÁLCULOS</b>
Como resultado se reporta el valor arrojado por el pH. Metro.

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021..

#### 2.7.2.2. Densidad

**Tabla 7-2.** Método de la evaluación de densidad

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza la prueba por triplicado.</li> <li>• Pesar la probeta vacía de 100 mL.</li> <li>• Añadir almidón sin compactar hasta llegar a los 100 mL.</li> <li>• Tomar el peso.</li> <li>• Compactar el almidón dentro de la probeta.</li> <li>• Realizar la diferencia de volumen.</li> </ul>
<b>CÁLCULOS</b>

Se resta la diferencia de la probeta con almidón de la probeta vacía y se divide para el volumen de 100 mL de la probeta.

Se resta la diferencia de la probeta con almidón de la probeta vacía y se divide para el volumen del compactado en mL de la probeta.

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.2.3. Viscosidad

**Tabla 8-2.** Método de la evaluación de viscosidad

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Añade 25 gramos con 500 mL de agua.</li> <li>• Deja hervir.</li> <li>• Sacar y se enfría hasta llegar a una temperatura de 25°C.</li> <li>• Toma la viscosidad.</li> </ul>
<b>CÁLCULOS</b>
Se toma el valor que arroja el viscosímetro.

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.2.4. Temperatura de gelatinización

**Tabla 9-2.** Método de la evaluación de Temperatura de gelatinización

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizan las pruebas por triplicado.</li> <li>• Preparar un baño maría, hasta que alcance el punto de ebullición.</li> <li>• Pesar 5 gramos de almidón en un vaso de 100 mL y se añade 50 mL de agua.</li> <li>• Introducir el vaso de 100 mL en el baño maría con la mezcla.</li> <li>• Agitar y con un termómetro se toma la temperatura.</li> <li>• Se la temperatura obtenida al hacerse gel es la temperatura de gelatinización.</li> </ul>
<b>CÁLCULOS</b>
Se toma la temperatura cuando se hace gel.

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.2.5. Índice de solubilidad

**Tabla 10-2.** Método de la evaluación de índice de solubilidad

PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza pruebas por triplicado.</li><li>• En tubos de plástico se añade 1,25 gramos en cada tubo.</li><li>• Adicionar 30 mL en cada tubo.</li><li>• Se prende el baño maría y se la programa hasta que llegue a 60°C.</li><li>• Ubicar los tubos con el agua y el almidón en el baño maría.</li><li>• Agitar levemente después de 10 minutos.</li><li>• Dejar 20 minutos en el baño maría.</li><li>• Centrifugar por 20 minutos a 3000 RPM.</li><li>• Sacar de la centrifuga y se toman 10 mL del líquido.</li><li>• Añadir 10 mL en un vaso de precipitación.</li><li>• Dejar en la estufa por 24 horas.</li><li>• Sacar las muestras y se lo pone en el desecador por 30 min.</li><li>• Finalmente se toma el peso de las muestras.</li></ul>
CÁLCULOS
Se la determina como la división entre la cantidad del soluto por cada 100 gramos de solvente.

Fuente: (FAO, 1999).

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.2.6. Humedad

**Tabla 11-2.** Método de la evaluación de humedad

PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realizan las muestras por triplicado.</li><li>• Tarar los crisoles por dos horas.</li><li>• Pasar el tiempo se lo saca al desecador por 30 minutos.</li><li>• Pesar el crisol vacío.</li><li>• Añadir en el crisol 3 gramos de almidón.</li><li>• Dejar en la estufa.</li><li>• Pesar hasta tener un peso constante.</li></ul>
CÁLCULOS
$\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 = \% \text{ Humedad}$

Fuente: (FAO, 1999).

### 2.7.2.7. Ceniza

**Tabla 12-2.** Método de la evaluación de ceniza

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Una vez realizada las pruebas por triplicado de humedad y tener los pesos, se añade los crisoles en la mufla.</li><li>• Se deja en la mufla a 300°C y luego se le sube la temperatura hasta los 550°C.</li><li>• La muestra debe tener un color gris y dejar de humear.</li><li>• Sacar los crisoles de la mufla.</li><li>• Dejar en el desecador por 1 hora aproximadamente.</li><li>• Se pesan los crisoles.</li></ul>
<b>CÁLCULOS</b>
$\frac{\text{Peso ceniza}}{\text{Peso muestra}} * 100 = \% \text{ Ceniza en base seca}$

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.2.8. Fibra

**Tabla 13-2.** Método de la evaluación de fibra

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pese con aproximación de miligramos de 2 a 3 gramos de la muestra desengrasada y seca. Colóquela en el matraz y adicione 200ml de la solución de ácido sulfúrico en ebullición.</li><li>• Coloque el condensador y lleve a ebullición en un minuto; de ser necesario adicionele antiespumante. Déjelo hervir exactamente por 30 min, manteniendo constante el volumen con agua destilada y moviendo periódicamente el matraz para remover las partículas adheridas a las paredes.</li><li>• Instale el embudo Buchner con el papel filtro y precaliéntelo con agua hirviendo. Simultáneamente y al término del tiempo de ebullición, retire el matraz, déjelo reposar por un minuto y filtre cuidadosamente usando succión; la filtración se debe realizar en menos de 10 min. Lave el papel filtro con agua hirviendo.</li><li>• Transfiera el residuo al matraz con ayuda de una pizeta conteniendo 200ml de solución de NaOH en ebullición y deje hervir por 30 min como en paso 2.</li><li>• Precaliente el crisol de filtración con agua hirviendo y filtre cuidadosamente después de dejar reposar el hidrolizado por 1 min.</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lave el residuo con agua hirviendo, con la solución de HCl y nuevamente con agua hirviendo, para terminar con tres lavados con éter de petróleo. Coloque el crisol en el horno a 105°C por 12 horas y enfríe en desecador.</li> <li>• Pese rápidamente los crisoles con el residuo (no los manipule) y colóquelos en la mufla a 550°C por 3 horas, déjelos enfriar en un desecador y péselos nuevamente.</li> </ul>
<b>CÁLCULOS</b>
Contenido de fibra cruda (%)= $100((A - B)/C)$
A = Peso del crisol con el residuo seco (g)
B = Peso del crisol con la ceniza (g)
C = Peso de la muestra (g);

Fuente:(FAO, 1999).

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

#### 2.7.2.9. Proteína

**Tabla 14-2.** Método de la evaluación de proteína

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 1 gramo de muestra y pásela a un matraz Kjeldahl, adicionar 10 gramos de sulfato de potasio, 0.6 gramos de óxido de mercurio, 25 gramos de ácido sulfúrico y pocos granos de piedra pomex.</li> <li>• Calentar el matraz moderadamente al principio, agitando ocasionalmente hasta que la materia este carbonizada y las burbujas hayan desaparecido, luego aumente la temperatura y permita que se establezca una ebullición suave. Evite que las paredes del matraz se sobrecalienten para que no se le peguen partículas orgánicas.</li> <li>• Cuando la solución se vea clara y sin color, continúe la ebullición por dos horas y luego permita que se enfríe. Si después de la digestión y el enfriamiento se cristaliza la solución repita el análisis; si sigue ocurriendo la cristalización repita el análisis usando una mayor cantidad de ácido sulfúrico.</li> <li>• Adicione con cuidado al matraz 250–350ml de agua destilada, mezclando el contenido al mismo tiempo; deje enfriar y agréguele unas lentejas de Zinc.</li> <li>• Transfiera 25 ml de solución de ácido sulfúrico 0.1 ó 0.5N al matraz de colecta del aparato de destilación, de acuerdo con el valor esperado de Nitrógeno en la muestra, así como unas cuantas gotas de indicador de rojo de metilo.</li> <li>• Tomando precauciones para evitar pérdida de amonio, adicione cuidadosamente a la muestra 100 ml de solución de hidróxido de sodio y luego 10 ml de solución de sulfato</li> </ul>

de sodio o 25 ml de solución de tiosulfato de sodio. Mezcle bien y conecte inmediatamente al aparato de destilación.

- Caliente el matraz de tal manera que se destilen alrededor de 150 ml del líquido en 30 min. Al finalizar, mida con papel indicador el pH del destilado resultante y si es alcalino continúe con la destilación, la cual se suspenderá cuando el pH aparezca neutro. Durante este proceso agite ocasionalmente el contenido del matraz. Si el destilado se torna alcalino, la determinación deberá ser abandonada y el análisis repetido con los ajustes apropiados.
- En el matraz de colecta titule el exceso de ácido sulfúrico con hidróxido de sodio 0.1 ó 0.25N, de acuerdo con la normalidad del ácido empleado, al punto final del indicador de rojo de metilo o rojo de metilo-azul de metileno.
- Corra un blanco de reactivos usando 1g de sacarosa en lugar de la muestra, para usarlo en el cálculo de los resultados.

#### CÁLCULOS

- Determine el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumido. 1 ml de ácido ° 1.4mg de Nitrógeno.
- Calcule el porcentaje de Nitrógeno en la muestra y conviértalo a porcentaje de proteína multiplicando el resultado por 6.25.

Si se sospecha de la presencia de Nitrógeno amoniacal o nitratos en la muestra, deberán ser evaluados para restarse del Nitrógeno total. Exceptuando los alimentos para rumiantes, se deberá evaluar el contenido de Nitrógeno no proteico y también substraerse del Nitrógeno total.

**Fuente:** (FAO, 1999).

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

#### 2.7.2.10. *Carbohidratos totales*

El extracto no nitrogenado se obtiene restando de 100 la suma de los porcentajes de agua, proteína bruta, cenizas, extracto etéreo y fibra bruta (González et al., 2017, pp.37-42).

#### 2.7.2.11. *Amilosa y Amilopectina*

Las pruebas de amilosa y amilopectina se enviarán al INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias).

2.7.2.12. *Levaduras, mohos y coliformes totales*

Prueba a realizar en el laboratorio de aguas, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a cargo de la Ing. Gina Álvarez, mediante la cual se determina los mohos, levaduras, coliformes totales y fecales, con la utilización de sembradas microbiológicas

2.7.3. *Técnicas de formulación de bioplástico a partir de almidón de lenteja*

**Tabla 15-2.** Método de obtención del bioplástico

<b>MÉTODO DE OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO</b>	
<b>Principio</b>	<b>Materiales</b>
Con el propósito de obtener un producto de una calidad aceptable que cumpla con el objetivo de utilización para embalaje de alimentos se realizan repeticiones para 4 tratamientos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitación de 250 y 50 ml</li> <li>• Varilla de agitación</li> <li>• Probetas de 250ml y 10ml</li> <li>• Cajas Petri</li> <li>• Moldes de vidrio formato A4</li> <li>• Espátula</li> <li>• Vidrio de reloj</li> <li>• Pinza</li> <li>• Termómetro</li> </ul>
<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Reverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua Destilada</li> <li>• Glicerina</li> <li>• Ácido acético</li> <li>• Almidón de lenteja</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar el almidón la cantidad necesaria para el tratamiento.</li> <li>• Medir el volumen de agua necesario y añadir el almidón pesado.</li> <li>• Mezclar bien hasta homogenizar.</li> <li>• Llevar la mezcla al baño maría y agitar constantemente.</li> <li>• Tomar la temperatura y cuando llega a los 50°C se le añade la glicerina necesaria para el tratamiento con el que se esté trabajando.</li> <li>• Añadir el ácido acético agitando constantemente.</li> </ul>	

- Tomar la temperatura hasta q llegue a su temperatura de gelatinización.
- Colocar en la caja petri o en el molde de vidrio formato A4.
- Dejar secar al ambiente por 1 día y medio.

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.3.1. Determinación de espesor

Para la determinación del espesor se basa en la Norma NTE INEN-ISO 4593 la cual menciona los parámetros a estudiarse, y el procedimiento a tomar para esta determinación (Ecuatoriana, 2014).

**Tabla 16-2.** Método de determinación de espesor del bioplástico

<b>MÉTODO DE DETERMINACIÓN DEL ESPESOR</b>	
<b>Procedimiento:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el micrómetro digital marca Jiuliang con margen de error de 0.001 mm.</li> <li>• Realizar 10 mediciones para cada muestra de cada repetición.</li> <li>• Tomar las mediciones en diferentes puntos de la placa del bioplástico.</li> </ul>	
<b>Cálculos:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con los datos obtenidos realizar una media.</li> </ul>	

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.3.2. Humedad del bioplástico

**Tabla 17-2.** Método de la evaluación de humedad para el bioplástico

<b>MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE HUMEDAD</b>	
<b>Procedimiento:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar las pruebas por triplicado.</li> <li>• Dejar los crisoles en la estufa por dos horas a una temperatura de 105°C.</li> <li>• Sacar de la estufa y colocar en el desecador.</li> <li>• Pesar el crisol frío.</li> <li>• Pesar 3 gramos de la muestra en el crisol.</li> <li>• Introducir los crisoles con la muestra previamente pesados en la estufa a una temperatura de 105°C.</li> <li>• Pesar luego de 2 horas.</li> <li>• Repetir el procedimiento hasta obtener un peso constante.</li> </ul>	
<b>Cálculos:</b>	



$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(m_w - m_d)}{m_w} * 100$$

**En donde:**

$m_w$  = peso de las láminas acondicionadas a 75% HR.

$m_d$  = peso seco de las láminas.

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.3.3. Solubilidad del plástico

**Tabla 18-2.** Método de la evaluación de solubilidad del bioplástico

<b>MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE SOLUBILIDAD</b>
<b>Procedimiento:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortar muestras de cada tratamiento con tamaños de 2,5x2, 5.</li> <li>• Colocar la muestra en vasos de plástico con 80 mL de agua destilada y tapar bien.</li> <li>• Colocar la muestra preparada en el Shaker por aproximadamente 1 hora a 200 rpm.</li> <li>• Retirar del Shaker y colocar las muestras en un papel filtro.</li> <li>• Ingresar en la estufa a una temperatura de 105°C.</li> <li>• Pesar hasta obtener peso constante.</li> </ul>
<b>Cálculos:</b>
$(\%) \text{Solubilidad} = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} * 100$
<b>Método de ensayo:</b>
Basado en el método gravimétrico.

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

### 2.7.3.4. Permeabilidad del plástico

**Tabla 19-2.** Método de la evaluación de permeabilidad del bioplástico

<b>MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE PERMEABILIDAD</b>
<b>Procedimiento:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dejar activando la sílica gel por 24 horas hasta obtener una humedad relativa del 0%.</li> <li>• Realizar las muestras por triplicado y lavar los tubos de ensayo.</li> <li>• Cortar muestras de los bioplásticos por cada tratamiento de 2,5x2, 5.</li> <li>• Llenar los tubos de ensayo con las ¾ de la sílica gel.</li> <li>• Con las muestras cortadas sellar el tubo en el que se añadió la sílica gel, y asegurar el tubo para que no existan fugas.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar una solución salina en la base del desecador.</li> <li>• Pesar los tubos.</li> <li>• Ingresar los tubos ya sellados en el desecador con una humedad relativa del 50% y dejar por una hora.</li> <li>• Tomar los pesos cada hora por 6 horas.</li> </ul>
<b>Cálculos:</b>
$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$
<p>En donde:</p> <p><math>P_2</math>: Peso de la lámina final.</p> <p><math>P_1</math>: Peso de la lámina inicial.</p> <p>E: espesor de la lámina.</p> <p>T: tiempo de determinación.</p> <p>pv: presión de vapor del proceso.</p> <p><math>\varphi_1</math>: Humedad relativa al interior de la celda.</p> <p><math>\varphi_2</math>: Humedad relativa de la camara con NaCl saturado.</p>

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

#### 2.7.3.5. Pruebas de tracción del bioplástico

Esta prueba se la realiza en el Laboratorio de Curtiembres y Fibras Agroindustriales en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde para poder ser realizada es necesario cumplir con las dimensiones de:

- Anchura: 15 mm
- Longitud inicial: 65 mm

#### 2.7.3.6. Prueba de biodegradabilidad

**Tabla 20-2.** Método de la evaluación de la biodegradación del bioplástico

<b>MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DE BIODEGRADACIÓN</b>
<b>Procedimiento:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recortar muestras de 4x4 de bioplástico</li> <li>• Utilizar recipientes plásticos transparentes.</li> </ul> <p>AGUA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionar 150 mL de agua.</li> <li>• Determinar el área de la muestra de 4x4 del bioplástico.</li> </ul>

- Añadir la muestra de bioplástico al recipiente.
- Inspeccionar la evolución diariamente tomando el área por 30 días.

#### AIRE

- Tomar el área de la muestra del bioplástico.
- Colocarlo en el recipiente.
- Revisar diariamente la muestra midiendo el área por 30 días.

#### SUELO

- Añadir una capa de tierra negra de aproximadamente 2 cm de base en el recipiente.
- Determinar el área de la muestra del bioplástico.
- Revisar diariamente y determinar el área de la muestra por 30 días.

### CÁLCULOS

Se realizan mediciones periódicas por medio de una regla.

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Resultados de la aplicación del diseño factorial $2^2$ para determinar el mejor rendimiento del almidón de lenteja

Para la extracción del almidón de lenteja se realizaron cuatro tratamientos. Se inició por la limpieza de la materia prima con la finalidad de evitar que cualquier otro material que no sea lenteja interfiera en el proceso. Las variables utilizadas para el proceso fueron tiempo y velocidad de licuado en RPM, específicamente se trabajó con los tiempos de 20 y 60 segundos, mientras que, para la velocidad de licuado se trabajó con una licuadora que posee dos velocidades: una alta de 20000 RPM y una baja de 6800 RPM. En todos los tratamientos se trabaja con 200 gramos de lenteja y 1 litro de agua purificada. Con ayuda de un cronómetro se tomaron los tiempos respectivos y concluido el proceso se pesa y determina el rendimiento. Se tuvo un total de 16 muestras donde a continuación se muestra la siguiente tabla de datos:

**Tabla 1-3.** Resultados de la aplicación del diseño factorial 2<sup>2</sup> para determinar el mejor rendimiento del almidón de lenteja

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PESO (g)				RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (h)
					PRODUCTO	ALMIDÓN			R	PROMEDIO	
						(g)	R	PROMEDIO			
1	T1	RPM A : 20	R1	1000	200	5	7.50	30	16.67	25.00	30
2			R2			8			26.67		
3			R3			10			33.33		
4			R4			7			23.33		
5	T2	RPM A : 60	R1			27	30.00	120	22.5	25.00	48
6			R2			38			31.67		
7			R3			28			23.33		
8			R4			27			22.50		
9	T3	RPM B : 20	R1			3	4.75	19	15.79	25.00	35
10			R2			5			26.32		
11			R3			6			31.58		
12			R4			5			26.32		
13	T4	RPM B : 60	R1			14	14.35	57	24.56	25.00	48
14			R2			16			28.07		
15			R3			15			26.32		
16			R4			12			21.05		

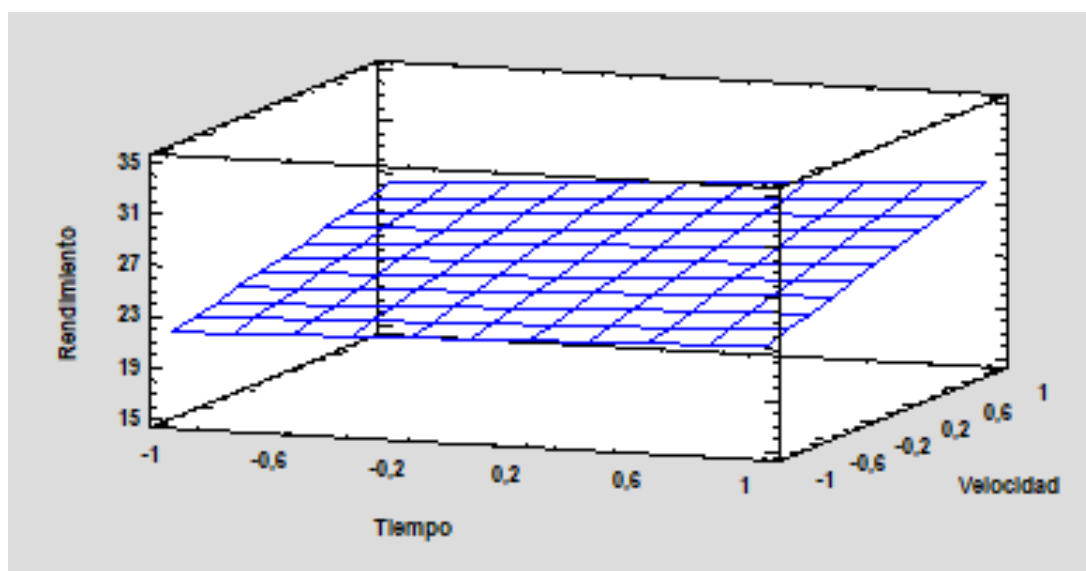
Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

**Tabla 2-3.** Análisis de resultados ANOVA para la extracción de almidón de lenteja

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A: Tiempo</b>	16.1403	1	16.1403	6.84	<b>0.0280</b>
<b>B: Velocidad</b>	114.009	1	114.009	48.34	<b>0.0001</b>
AB	1.39831	1	1.39831	0.59	0.4610
Bloques	209.929	3	69.9764	29.67	<b>0.0001</b>
Error total	21.2253	9	2.35836		
Total (corr.)	362.702	15			

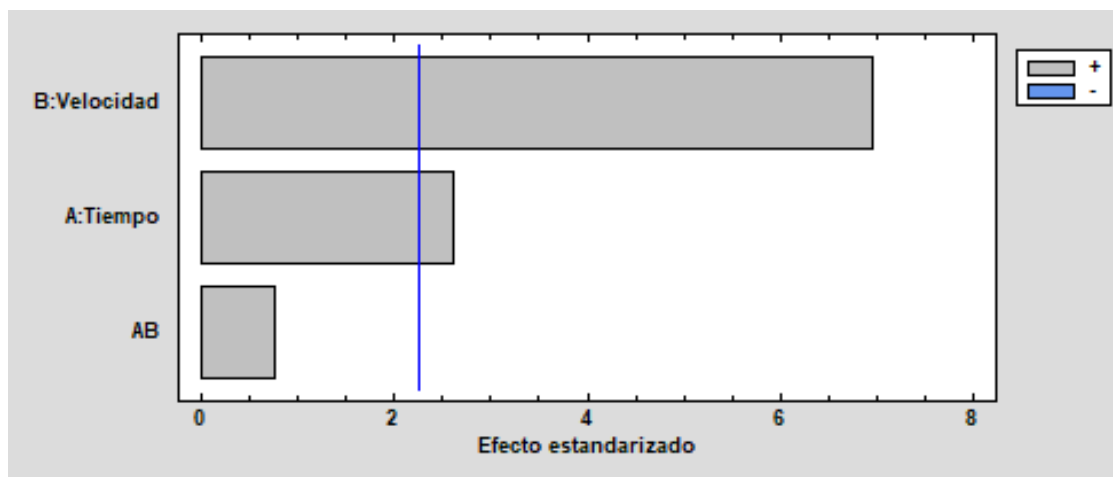
Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

En la Tabla 2-3 se ven representados los datos del análisis estadístico ANOVA o también llamado Análisis de Varianza para Rendimiento donde los valores más importantes se encuentran en la significancia observada o también denominado “Valor-P”. Puesto que se trabaja con una confianza del 95% se puede asegurar conforme a los resultados obtenidos que las variables de velocidad y tiempo como componentes separados contribuyen afirmativamente en el proceso de extracción de almidón; es decir, si se aumentara solo la velocidad de licuado o solo el tiempo de licuado se obtendrá una mayor cantidad de almidón, el rendimiento de extracción de almidón será mayor que si se aumentara al mismo tiempo la velocidad y tiempo.



**Gráfico 1-3.** Diagrama de Superficie de Respuesta

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.



**Gráfico 2-3.** Diagrama de Pareto Estandarizado para Rendimiento

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

Al realizar un análisis en los diagramas se puede asegurar que la variable que más peso tiene es el de la Velocidad, eso quiere decir que, cuando se realizó la extracción del almidón y para futuros ensayos cuando mayor sea la velocidad de licuado, mayor será el rendimiento de extracción teniendo así mayor cantidad de almidón.

En base a los datos presentados en la Tabla 1-3 se puede observar que hay una gran diferencia en el peso total de almidón obtenido del tratamiento 2 en comparación al resto de tratamientos teniendo en peso 120 gramos, por lo que se puede aseverar que el tratamiento 2 fue el mejor de los tratamientos de extracción teniendo una velocidad de licuado de 20000 RPM y un tiempo de licuado de 60 segundos.

### 3.1.2. Resultados del análisis físico, químico proximal y microbiológico del almidón de lenteja

**Tabla 3-3.** Resultados del análisis químico proximal del almidón de lenteja

No.	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA / INSTITUCIÓN
1	Humedad	%	13.08	09-15%	NTE INEN-ISO 1666
2	Ceniza	%	0.4924	0,12-0,82%	NTE INEN-ISO 3593
3	Solubilidad	%	10.84	11,50-12,32%	FAO (Anderson,1969)
4	pH		7.06	5.5-6.0	NTE INEN 1456:1986
5	Fibra	%	12.19	12 ± 1,30	NTE INEN 2725
6	Proteína	%	23	8.80 ± 1.00	
7	Viscosidad	cP	938.50	840-1500cP	FAO (Smith,1997)
8	Temperatura de gelatinización	°C	74.00	57,5-70°C	FAO (Grace,1977)

9	Carbohidratos Totales	%	71.5	70-80%	Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO)
10	Amilosa	%	58.79	25-30%	NTE INEN-ISO 6647-1
11	Amilopectina	%	41.21	70-75%	
12	Hongos	UPC/g	10	<10	Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO)
13	Levaduras y mohos	UPC/g	4000	1000-5000	
14	Coliformes totales	UPC/g	80	-	

**Realizado por:** Flores, Manuel. 2021.

En la Tabla 3-3 se evidencia los valores arrojados del análisis físico-químico del almidón realizado en el Laboratorio de Investigación en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el análisis de amilosa y amilopectina realizado en el INIAP y el análisis microbiológico realizado en el Laboratorio de Aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

### ***3.1.3. Resultado de la determinación del tratamiento óptimo del diseño experimental del bioplástico 2<sup>2</sup>***

El tratamiento de formación de la biopelícula se realiza mediante el diseño factorial 2<sup>2</sup> con la finalidad de determinar el producto de mejor calidad. En dicha formulación para la elaboración del bioplástico se tiene como variables la cantidad en peso del almidón, teniendo una diferencia de 1 gramo y la cantidad en volumen de la glicerina teniendo una diferencia de 0.25 mL. Las constantes en la mezcla serán la cantidad de agua (40 mL) y la cantidad de ácido acético (3 mL) siendo de esta manera se tiene 4 tratamientos con sus respectivas repeticiones teniendo los siguientes valores plasmados en la Tabla 4-3.



**Tabla 4-3.** Resultados análisis factorial 2<sup>2</sup> para la formulación de las biopelículas a partir del almidón de lenteja

No.	TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO ELABORACIÓN (min)	SECADO				ESPESOR (mm)	
						LUGAR	MÉTODO	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)		
1	TP1	CA1 : CG1	R1	74	4	LABORATORIO INVESTIGACIÓN	SECADO NATURAL	25	48	0.11	0.1025
2			R2		4					0.1	
3			R3		4					0.1	
4			R4		4					0.1	
5	TP2	CA1 : CG2	R1		4					0.14	0.1425
6			R2		4					0.14	
7			R3		4					0.15	
8			R4		4					0.14	
9	TP3	CA2 : CG1	R1		4					0.11	0.1075
10			R2		4					0.1	
11			R3		4					0.1	
12			R4		4					0.12	
13	TP4	CA2 : CG2	R1		4					0.13	0.125
14			R2		4					0.12	
15			R3		4					0.12	
16			R4		4					0.13	

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

En la Tabla 4-3 se evidencian los datos de formulación de los bioplásticos elaborados de acuerdo con sus espesores, teniendo un total de 16 muestras, con un tiempo y temperatura de secado estimado para cada caso.

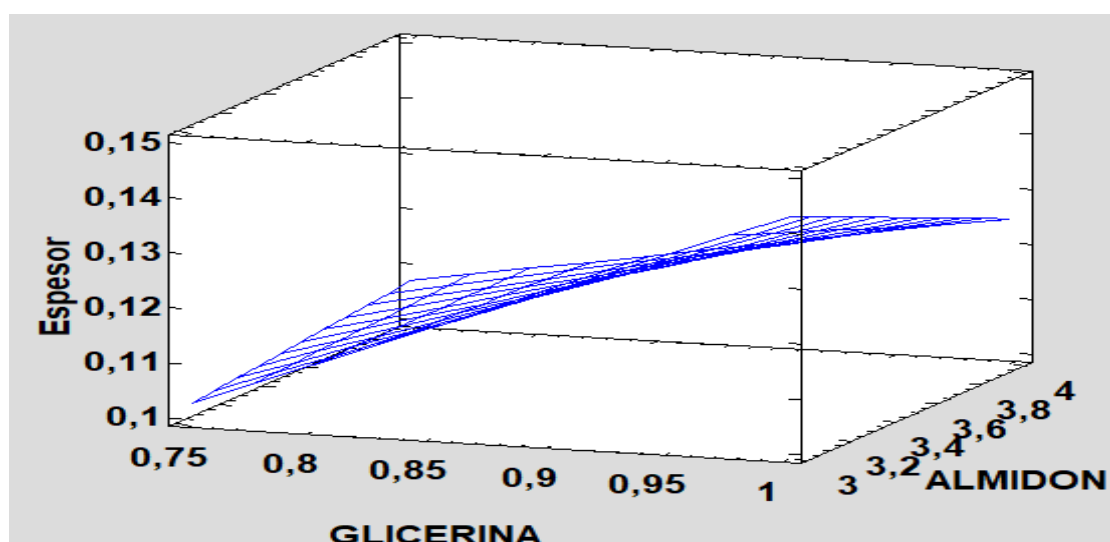
**Tabla 5-3.** Análisis de varianza ANOVA para la formulación de bioplásticos con relación al espesor

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Glicerina	0.00330625	1	0.00330625	75.57	0.0000
B: Almidón	0.00015625	1	0.00015625	3.57	0.0832
AB	0.00050625	1	0.00050625	11.57	0.0053
Error Total	0.000525	12	0.00004375		
Total (corr.)	0.00449375	15			

Fuente: Statgraphics 18

Realizado por: Flores, Manuel. 2021

En la Tabla 5-3 se ven representados los datos del análisis estadístico ANOVA donde los valores más importantes se encuentran en la significancia observada o también denominado “Valor-P”. Al trabajar con una significancia estadística menor al 5% se puede asegurar conforme a los resultados obtenidos que, la variable de cantidad de glicerina es el componente que más contribuye afirmativamente en el espesor de la biopelícula; es decir, que solo aumentando la cantidad de glicerina se obtendrá una mejor calidad de plástico biodegradable; sin embargo, también se ve reflejado en los datos que la interacción del almidón y glicerina también responde afirmativamente el rendimiento de calidad.



**Gráfico 3-3.** Diagrama Superficie de Respuesta (Especor)

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

En el Gráfico 3-3 se evidencia el diagrama de superficie donde se afirma que, entre las variables de glicerina y almidón, hay una mayor distorsión conforme se aumenta la cantidad de glicerina en la fórmula de elaboración de la biopelícula. Con estos datos se puede realizar un análisis del experimento en medida que se puede determinar los coeficientes de regresión con la finalidad de obtener una ecuación que ayudará a determinar el espesor, siendo la siguiente:

$$\text{Espesor} = -0.235 + 0.43 * \text{GLICERINA} + 0.0725 * \text{ALMIDON} - 0.09 * \text{GLICERINA} * \text{ALMIDON}$$

Con ayuda de la ecuación presentada se podrá predecir el valor del espesor en posteriores ensayos sin la necesidad de volver a lanzar los datos a un programa estadístico.

**Tabla 6-3.** Formulaciones realizadas basándose en el diseño factorial  $2^2$

Formulación	Cantidades			
	Almidón	Glicerina	Agua Destilada	Ácido acético
1	3	0,75	40	3
2	3	1	40	3
3	4	0,75	40	3
4	4	1	40	3

Realizado por: Flores, Manuel. 2021



**Gráfico 4-3.** Bioplástico obtenido

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

En el Gráfico 4-3 se visualizan los tratamientos del plástico realizados para un total de 4 muestras con sus 4 repeticiones.

### 3.1.4. Resultados de la caracterización de bioplásticos ensayos físicos y mecánicos

Los análisis se realizan por separado y de acuerdo a su tratamiento, de esta manera se inicia con la caracterización de análisis sensorial como se muestra en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3.** Resultado de determinación del tratamiento óptimo del diseño experimental del bioplástico

Formulaciones	Parámetros			
	Aspecto	Textura	Flexibilidad	Resistencia
T1	Ligeramente opaco	Lisa	Poco Flexible	Débil
T2	Ligeramente opaco	Lisa	Flexible	Fuerte
T3	Ligeramente opaco	Lisa	Nada flexible	Muy débil
T4	Ligeramente traslúcido	Lisa	Nada flexible	Muy débil

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

#### 3.1.4.1. Contenido de humedad

En la Tabla 8-3 se evidencia los resultados del contenido de humedad de la biopelícula para cada uno de los tratamientos

**Tabla 8-3.** Resultados del ensayo de determinación de humedad de la biopelícula

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	HUMEDAD (%)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1 : CG1	R1	11.34	19,3-22,1% (Escobar, y otros, 2009 págs. 33-35)
		R2	13.08	
		R3	12.47	
		R4	11.90	
TP2	CA1 : CG2	R1	10.87	
		R2	12.44	
		R3	10.50	
		R4	11.09	
TP3	CA2 : CG1	R1	8.25	
		R2	8.20	
		R3	7.56	
		R4	8.20	
TP4	CA2 : CG2	R1	8.65	
		R2	7.90	

		R3	8.12	
		R4	8.18	

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

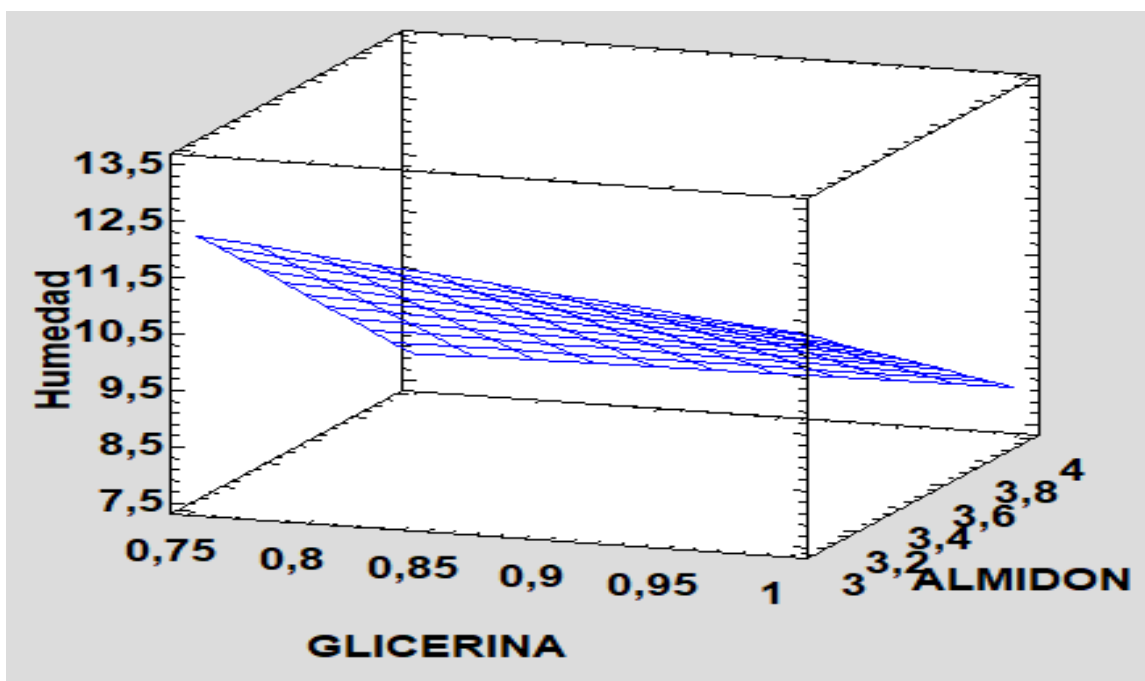
**Tabla 9-3.** Análisis de varianza ANOVA humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Glicerina	0,660156	1	0,660156	1.78	0.2067
<b>B: Almidón</b>	51,2298	1	51,2298	138.25	<b>0.0000</b>
AB	1,28256	1	1,28256	3.46	0.0875
Error Total	4,44673	12	0,37056		
Total (corr.)	57,6192	15			

Fuente: Statgraphics 18

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

La Tabla 9-3 indica los valores del análisis estadístico ANOVA arrojando como resultado que tan solo la variable del almidón muestra una significancia del Valor-P menor al 5%, lo que significa que existe una diferencia significativa entre los distintos tratamientos con el almidón como variable de confianza.



**Gráfico 5-3.** Diagrama de Superficie de Respuesta (Humedad)

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

El Gráfico 5-3 muestra de mejor manera la forma en que el almidón aumenta la cantidad de humedad de la biopelícula y de la misma manera se puede llegar a determinar la fórmula que mejor se ajusta a los datos para determinar la cantidad de humedad presente, siendo esta:

$$\text{Humedad} = 37.743 - 17.48 * \text{GLICERINA} - 7.543 * \text{ALMIDON} + 4.53 * \text{GLICERINA} * \text{ALMIDON}$$

### 3.1.4.3. Solubilidad

Los datos arrojados en la prueba de solubilidad se ven reflejados en la Tabla 10-3, siendo los siguientes:

**Tabla 10-3.** Resultados del ensayo de solubilidad de la biopelícula

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	SOLUBILIDAD (%)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1 : CG1	R1	57.50	39,0-59,5 % (Escobar, y otros, 2009 págs. 33-36)
		R2	58.12	
		R3	57.48	
		R4	57.91	
TP2	CA1 : CG2	R1	53.22	
		R2	51.50	
		R3	51.93	
		R4	52.45	
TP3	CA2 : CG1	R1	47.85	
		R2	46.88	
		R3	46.98	
		R4	47.12	
TP4	CA2 : CG2	R1	45.9	
		R2	43.55	
		R3	43.75	
		R4	45.75	

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

**Tabla 11-3.** Análisis de varianza ANOVA solubilidad

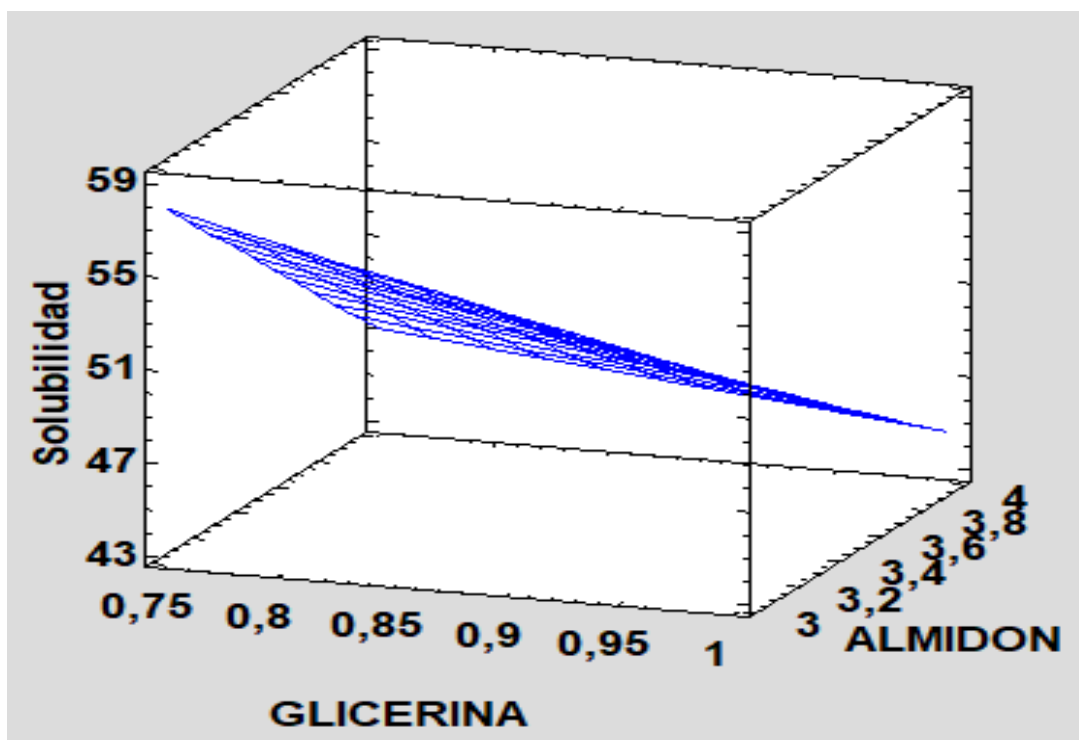
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Glicerina	63.5608	1	63.5608	161.26	0.0000
B: Almidón	326.073	1	326.073	827.29	0.0000

<b>AB</b>	9.19606	1	9.19606	23.33	<b>0.0009</b>
Error Total	3.54731	9	0.394145		
Total (corr.)	406.189	15			

Fuente: Statgraphics 18

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

La Tabla 11-3 indica los valores del análisis estadístico ANOVA arrojando como resultado que tanto las variables de glicerina como de almidón, así como la interacción de las dos variables arrojan un Valor-P menor al 5% teniendo así una confianza mayor al 95%, dando a conocer que cualquiera de los cambios en los valores de las variables dan un resultado significativo cuando de analizar la solubilidad se trata.



**Gráfico 6-3.** Diagrama de Superficie de Respuesta (Solubilidad)

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

El Gráfico 6-3 muestra de mejor manera cómo se ve afectada la solubilidad cuando se realizan cambios en los valores de glicerina y almidón y de la misma manera se puede llegar a determinar la fórmula que mejor se ajusta a los datos para determinar la cantidad de humedad presente, siendo esta:

$$Solubilidad = 133.187 - 58.4 * GLICERINA - 19.6 * ALMIDON + 12.1 * GLICERINA * ALMIDON$$

### 3.1.4.4. Permeabilidad

**Tabla 12-3.** Resultados del ensayo de determinación de permeabilidad de la biopelícula

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	PERMEABILIDAD (g/h*m*Mpa)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1 : CG1	R1	0.00209	0,00219±0,0010 (Villada, y otros, 2013 págs. 1-10)
		R2	0.00205	
		R3	0.00211	
		R4	0.00214	
TP2	CA1 : CG2	R1	0.00198	
		R2	0.00204	
		R3	0.00204	
		R4	0.00200	
TP3	CA2 : CG1	R1	0.00158	
		R2	0.00158	
		R3	0.00145	
		R4	0.00159	
TP4	CA2 : CG2	R1	0.00145	
		R2	0.00168	
		R3	0.00166	
		R4	0.00154	

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

**Tabla 13-3.** Análisis de varianza ANOVA permeabilidad

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Glicerina	1.15562E-8	1	1.15562E-8	2.77	0.1220
<b>B: Almidón</b>	0.00000107	1	0.00000107	257.95	<b>0.0000</b>
AB	3.306E-9	1	3.306E-9	0.79	0.3909
Error Total	5.0075E-8	12	4.1729E-9		
Total (corr.)	0.000001141	15			

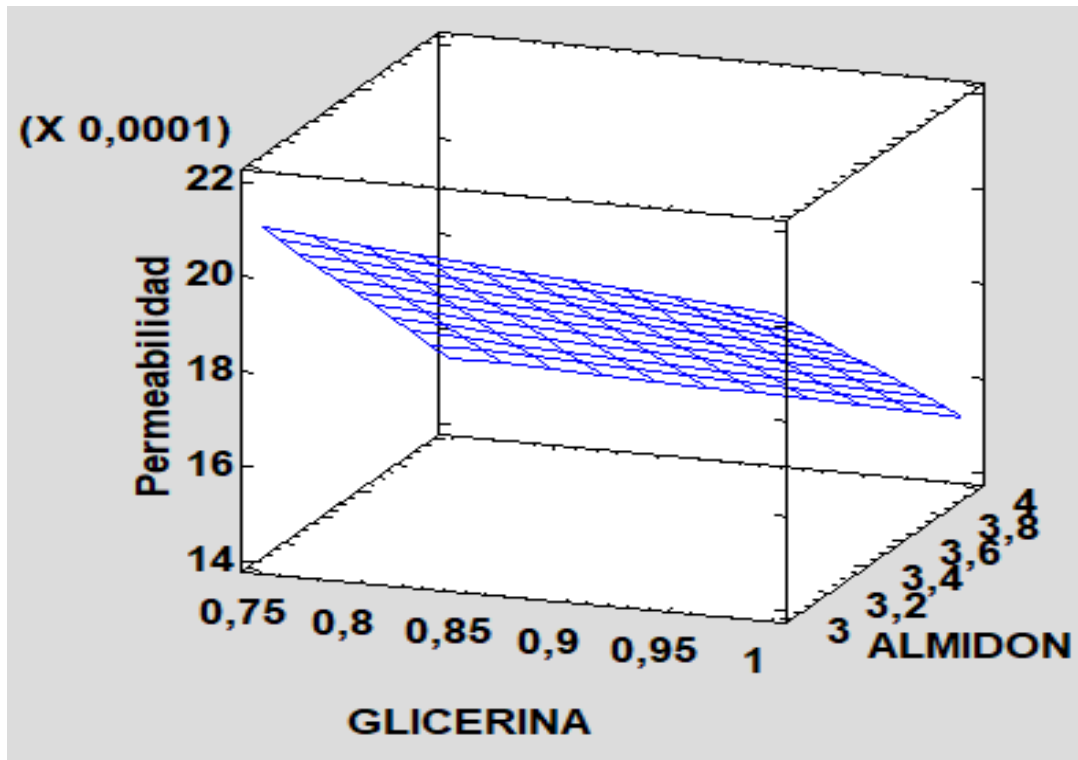
Fuente: Statgraphics 18

Realizado por: Flores, Manuel. 2021

La Tabla 13-3 indica los valores del análisis estadístico ANOVA (Centurion 2021) arrojando como resultado que tan solo la variable del almidón muestra una significancia del Valor-P menor al 5%,



lo que significa que existe una diferencia significativa entre los distintos tratamientos con el almidón como variable de confianza.



**Gráfico 7-3.** Diagrama de Superficie de Respuesta (Permeabilidad)

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

La gráfica del diagrama de superficie evidenciada en el Gráfico 6-3 muestra de una manera más clara los resultados obtenidos en la prueba ANOVA y gracias a eso se puede realizar la ecuación que mejor se ajusta a los datos y que se podrá utilizar para posteriores datos:

$$Permeabilidad = 0.0045 - 0.0012 * GLICERINA - 0.00072 * ALMIDON + 0.00023 * GLICERINA * ALMIDON$$

#### 3.1.4.5. Ensayo de Tracción

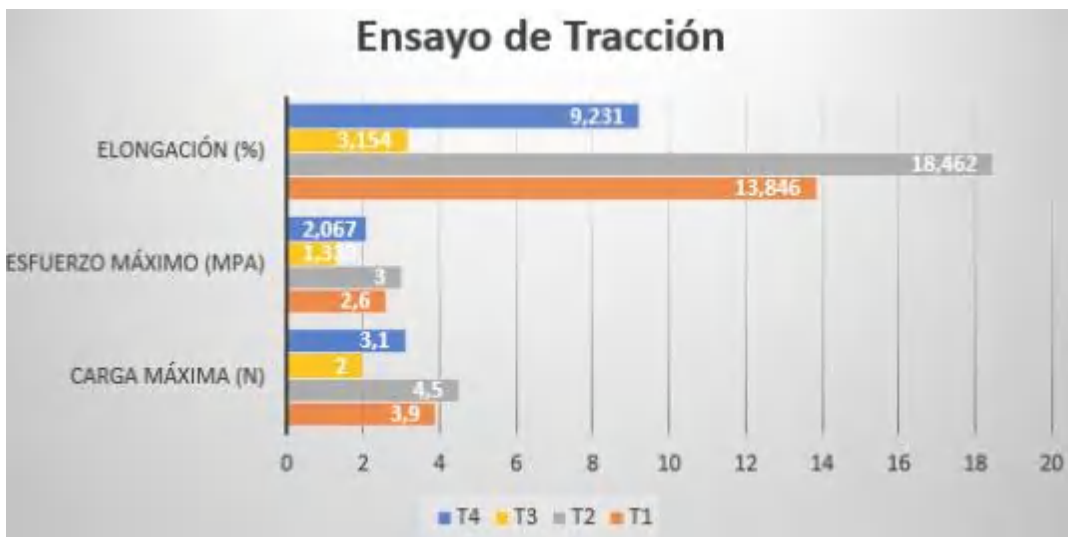
Este tipo de prueba se lo realiza a través de un informe que es entregado por el Laboratorio de Curtiembres y Fibras, el dispositivo utilizado para que arroje los datos necesitados es un Elastómetro como lo sugiere (Troncoso Heros 2014) y todo se basó en la norma NTE INEN 2043-2013. Se realizaron 4 tratamientos con los siguientes resultados:

**Tabla 14-3.** Resultados de la prueba de tracción del bioplástico

TRATAMIENTO	MÓDULO ELASTICIDAD (Mpa)	CARGA DE FLUENCIA (N)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	CARGA MÁXIMA (N)	ESFUERZO MÁXIMO (Mpa)	ELONGACIÓN (%)
T1	0,1	65	3,009	3,9	2,6	13,846
T2	0,1	65	3,009	4,5	3	18,462
T3	0,1	65	3,009	2	1,333	3,154
T4	0,1	65	3,009	3,1	2,067	9,231

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

De esta manera se puede evidenciar en base a los datos obtenidos que por porcentaje de elongación y la carga máxima que soporta la lámina biodegradable los mejores tratamientos fueron el T2 y T1; de igual manera se puede observar en el Gráfico 8-3 que los tratamientos T1 y T2 tienen valores superiores mostrando mejores capacidades que los demás tratamientos.



**Gráfico 8-3.** Análisis del ensayo de tracción

Realizado por: Flores, Manuel 2021.

#### 3.1.4.6. Biodegradabilidad

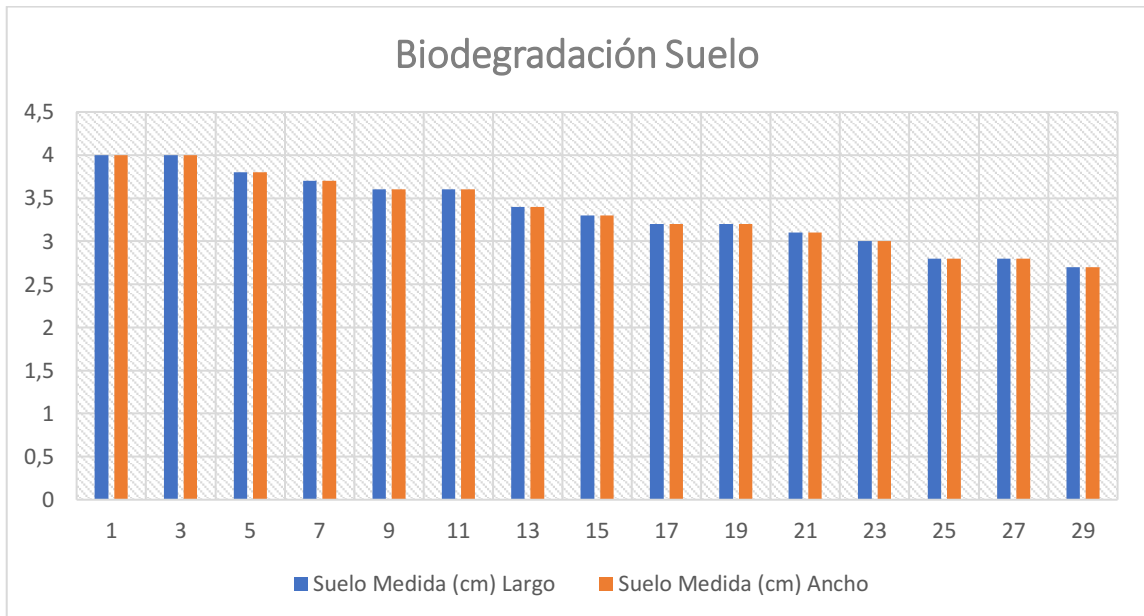
La prueba de biodegradabilidad se realizó con muestras de aquel que se observó y tenía las mejores características; además, se colocó en diferentes ambientes que corresponden a la exposición directa con aire, agua y tierra. Se analizaron las medidas del biofilm en ancho y largo por un período de 29 días, las medidas realizadas se las hicieron pasando un día donde se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 15-3.** Resultados de la biodegradación de la biopelícula (Suelo)

Día	Largo (cm)	Ancho (cm)
1	4	4
3	4	4
5	3.8	3.8
7	3.7	3.7
9	3.6	3.6
11	3.6	3.6
13	3.4	3.4
15	3.3	3.3
17	3.2	3.2
19	3.2	3.2
21	3.2	3.1
23	3	3
25	2.8	2.8
27	2.8	2.8
29	2.7	2.7

Realizado por: Flores, Manuel, 2021.

La prueba comienza con láminas recortadas con dimensiones de 4x4 donde se logra observar la caída de estas dimensiones iniciales se una manera progresiva con el paso de los días.



**Gráfico 9-3.** Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (suelo)

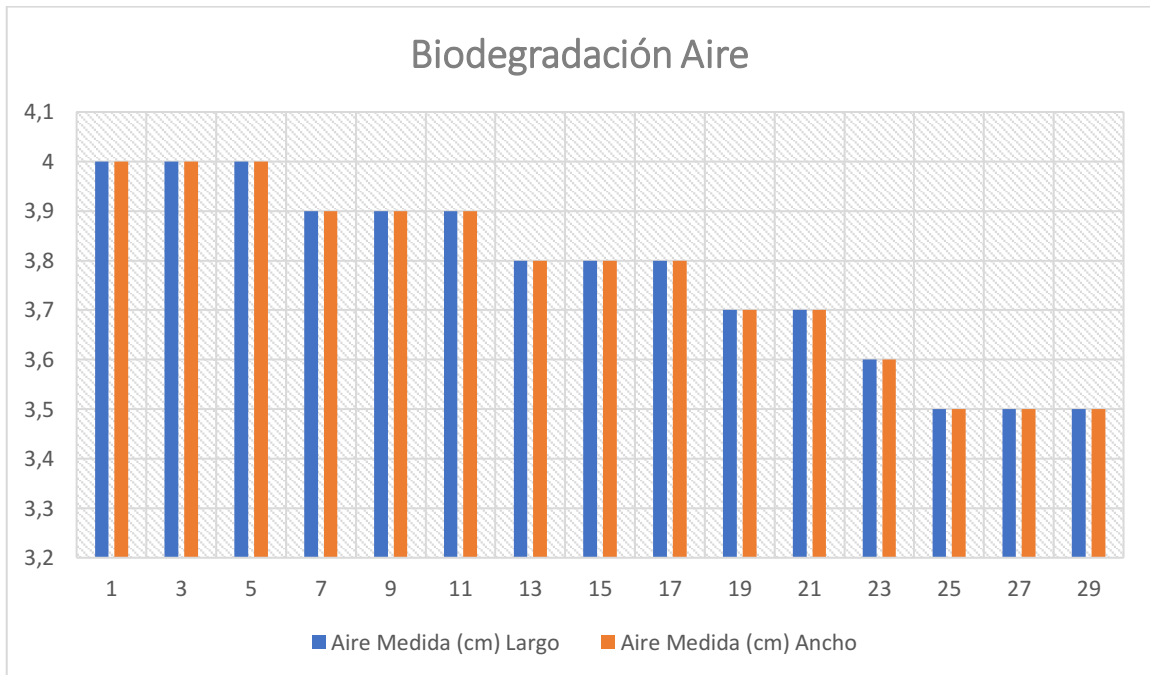
Realizado por: Flores, Manuel, 2021.

**Tabla 16-3.** Resultados de la biodegradación de la biopelícula (Aire)

Día	Largo (cm)	Ancho (cm)
1	4	4
3	4	4
5	4	4
7	3.9	3.9
9	3.9	3.9
11	3.9	3.9
13	3.8	3.8
15	3.8	3.8
17	3.8	3.8
19	3.7	3.7
21	3.7	3.7
23	3.6	3.6
25	3.5	3.5
27	3.5	3.5
29	3.5	3.5

Realizado por: Flores, Manuel, 2021.

La prueba comienza con láminas recortadas con dimensiones de 4x4 donde se logra observar la caída de estas dimensiones iniciales se una manera progresiva con el paso de los días.



**Gráfico 10-3.** Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (aire)

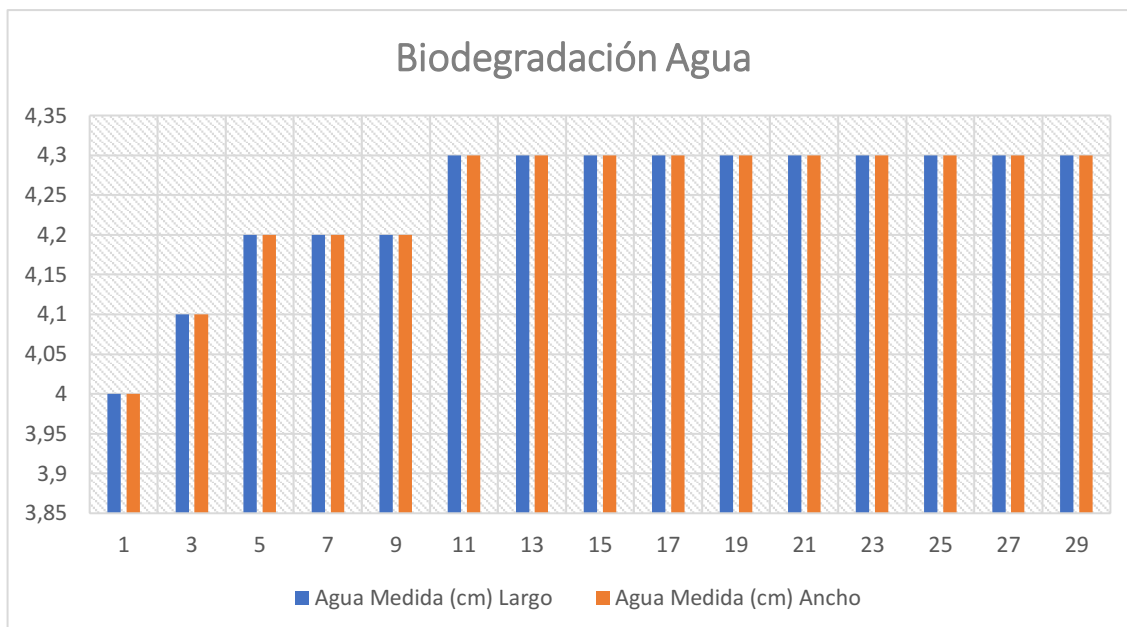
Realizado por: Flores, Manuel, 2021.

**Tabla 17-3.** Resultados de la biodegradación de la biopelícula (agua)

<b>Día</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>
<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>
<b>5</b>	<b>4.2</b>	<b>4.2</b>
<b>7</b>	<b>4.2</b>	<b>4.2</b>
<b>9</b>	<b>4.2</b>	<b>4.2</b>
<b>11</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>13</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>15</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>17</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>19</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>21</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>23</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>25</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>27</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>
<b>29</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>

**Realizado por:** Flores, Manuel, 2021.

En esta prueba al igual que las demás se comienza con láminas de 4x4, sin embargo, existe un ensanchamiento de la lámina por lo que sus dimensiones aumentan. Además, una de las mayores diferencias es que a pesar que la lámina crece, al existir cualquier tipo de perturbación la lámina de llega a degradar con mayor facilidad.



**Gráfico 11-3.** Gráfica de datos tabulados para biodegradabilidad (aire)

Realizado por: Flores, Manuel, 2021.

### 3.1.5. Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto

La aplicación de la lámina biodegradable se la realiza mediante la comparación de una fruta expuesta al ambiente y una envuelta en el biofilm, de manera que se pueda determinar la eficiencia de dicha lámina, se realiza un análisis sensorial de la frutilla obteniendo los siguientes resultados en la Tabla 18-3.

**Tabla 18-3.** Análisis sensorial de la frutilla

ANÁLISIS SENSORIAL DE LA FRUTILLA AL PASO DE 7 DÍAS				
Tipo de estudio	Textura	Sabor	Olor	Aspecto
Frutilla al ambiente	Suave	Agrio	Rancio	Deshidratado
Frutilla envuelta	Duro	Dulce	Dulce	Firme

Realizado por: Flores, Manuel. 2021.

## **3.2. Pruebas de hipótesis**

### **3.2.1. Hipótesis 1**

*La materia prima obtenida a partir de almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) será la indicada para formular y obtener una lámina biodegradable cuyas propiedades y características permitan la conservación de los alimentos.*

La lenteja (*Lens culinaris*) debido a que posee una gran cantidad de almidón dentro de sus componentes, con 58.79% de amilosa, es idónea para la formulación y preparación de láminas biodegradables que ofrezcan un mayor tiempo de conservación de alimentos.

### **3.2.2. Hipótesis 2**

*El mayor porcentaje de almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) se obtiene utilizando el método seco.* De acuerdo al método seco de extracción donde se variaron la velocidad de licuado y el tiempo se puede decir que, si se obtiene un mayor porcentaje de almidón, sobre todo cuando se utiliza simultáneamente una mayor velocidad de licuado y mayor tiempo de licuado teniendo así que para 200 gramos de lenteja y 1 litro de agua se puede llegar a obtener de 27 a 38 gramos de almidón por cada repetición.

### **3.2.3. Hipótesis 3**

*El contenido de amilopectina presente en el almidón de Lenteja (*Lens culinaris*) influirá en la formulación de las láminas biodegradables.*

De acuerdo a los resultados obtenidos por INIAP en análisis de amilosa y amilopectina se tiene que en el almidón de lenteja está presente 58.79 % de amilosa y 41.21% de amilopectina, sin embargo, según (Labeaga 2018) una gran cantidad de amilopectina puede llegar a reducir la movilidad de los polímeros dando resistencia a gelificarse cuando se lo almacena causando que cuando se realizan biofilms la amilopectina no pueda llegar a ofrecer dureza y tampoco flexibilidad.

### **3.2.4. Hipótesis 4**

*Los porcentajes de almidón y aditivos influyen en la formulación de láminas biodegradables.*

Cuando de realizar la formulación de láminas biodegradables se trata, la cantidad de almidón y glicerina son de lo más importante, ya que, dependiendo de esta se va a dar elongación y resistencia a la lámina, de manera que, si se coloca insuficiente glicerina la lámina resultante

carece de elongación y si se coloca glicerina en exceso la lámina resultante tiene una textura chiclosa.

### **3.2.5. Hipótesis 5**

*La lámina biodegradable obtenida con la mejor formulación es capaz de mantener las propiedades organolépticas de un alimento permitiendo así la conservación de este.*

La lámina biodegradable que ofreció mejores características fue aquella en la que se colocó 3 gramos de almidón, 0.75 mililitros de glicerina, 40 mililitros de agua y 3 mililitros de ácido acético; cuando se hizo la prueba de conservación con la frutilla, la lámina almacenó de manera afirmativa durante una semana las propiedades organolépticas de la fruta sin que esta llegase a presentar algún tipo de descomposición como mohos.

### **3.3. Discusión de Resultados**

Para realizar las denominadas biopelículas es necesario partir de una materia prima en buenas condiciones, que no contenga ningún tipo de contaminante o agente extraño que pueda llegar a perjudicar el producto final, tomando eso en cuenta eso se utilizó la lenteja (*Lens culinaris*) esperando y finalmente afirmando que es una leguminosa con grandes posibilidades de utilizar para la formación de plástico biodegradable por poseer en gran medida almidón. El método de extracción fue mediante vía seca teniendo como variables la velocidad de licuado en RPM de 20000 y 6800 y en tiempo de licuado variando entre 20 y 60 segundos; finalmente con la extracción se tiene que un gran rendimiento fue de aquel que tuvo 25% en promedio y 120 gramos sumando todas las repeticiones para el proceso de 20000 RPM y un tiempo de 60 segundos diciendo que en este proceso a mayor velocidad y mayor tiempo se tiene mayor cantidad de almidón siendo lo mismo a lo que llegó (Flores, 2004, pp.86-90). Cuando se ha obtenido el almidón se lo sometió a una prueba para caracterizar su porcentaje de amilosa y amilopectina, dicho procedimiento fue realizado en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) teniendo así un resultado de porcentaje de amilosa de 58.79% y 41.21% de amilopectina. Una vez obtenido el almidón en condiciones de laboratorio se procedió a realizar las formulaciones respectivas para realizar el producto planteado teniendo que, para realizar plástico biodegradable se necesita según (Sierra, 2016, p.1) sobretodo de 4 componentes que son: almidón, glicerina como plastificante, agua y ácido acético. De los 4 componentes previamente mencionados las cantidades de agua y ácido acético se mantienen constantes, los valores que se va a variar serán los gramos de almidón y mililitros de glicerina; con la finalidad de cumplir con el análisis estadístico  $2^k$  propuesto por (Ferré, 2002, pp.1-4) y para facilitar un análisis posterior de datos se variará la cantidad de almidón para la formulación de la lámina de 3 gramos a 4 gramos



y así mismo para la glicerina el valor variará de 0.75 mililitros a 1 mililitro teniendo finalmente 4 tratamientos. Una vez obtenidas las láminas biodegradables fueron sometidas a varias pruebas como lo son: espesor, humedad, solubilidad, permeabilidad y pruebas de tracción; con todos esos resultados fue posible realizar el Análisis de Varianza o ANOVA con la finalidad de determinar los factores importantes y que dan mayor variabilidad a los resultados con una confianza del 95%. Por medio del análisis de resultados y mediante las pruebas de tracción realizadas en el Laboratorio de Curtiembres y Fibras de la ESPOCH, basadas en la norma NTE INEN 2043 (INEN, 2013) se tiene que de las 4 formulaciones, la que mejores características poseía fue aquella contaba con la formulación de 3 gramos de almidón, 0.75 mililitros de glicerina, 40 mililitros de agua y 3 mililitros de ácido acético. Elegido el mejor de los tratamientos se procedió a cubrir una frutilla con el biofilm con la finalidad de determinar la eficacia en la conservación de este alimento para un lapso de 7 días, teniendo así que el alimento llegó a conservar las propiedades organolépticas. Y como paso final se quiso determinar el tiempo de biodegradabilidad de la lámina expuesta en 3 diferentes ambientes siendo estas: agua, aire y tierra; teniendo así los resultados expuestos en las tablas 15-3, 16-3 y 17-3.

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo una lámina biodegradable a partir de la lenteja (*Lens culinaris*) teniendo la capacidad de mantener las propiedades organolépticas siendo así idónea para el embalaje de alimentos. Esta lámina biodegradable sirvió de recubrimiento para la frutilla que al lapso de 7 días no llegó a presentar ningún tipo de moho, manteniendo la frutilla su olor característico, además de su sabor.
- Se obtuvo almidón a partir de la lenteja (*Lens culinaris*) mediante método seco utilizando un análisis factorial  $2^k$  donde se presentaron como variables las RPM de la licuadora y el tiempo de licuado, teniendo así 4 tratamientos y un total de 16 repeticiones, de manera que, para el primer tratamiento se tuvo un total de 30 gramos de almidón, en el segundo tratamiento un total de 120 gramos, en el tercer tratamiento 19 gramos y para el último tratamiento se obtuvo un total de 57 gramos de almidón. Concluyendo de esta manera que el tratamiento que mejores resultados tuvo fue el segundo correspondiente a la velocidad de 20000 RPM y un tiempo de licuado de 60 segundos.
- Se caracterizó el almidón obtenido mediante pruebas físico-químicas realizadas en el Laboratorio de Investigación de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cumpliendo con los estándares de las normas INEN, también se realizaron pruebas microbiológicas con la Dra. Gina Álvarez como Técnico Responsable del Laboratorio de Aguas teniendo todos los valores dentro del rango permitido.
- Se identificó la mezcla óptima de almidón y aditivos para la elaboración de láminas biodegradables, siendo esta: 3gramos de almidón, 0.75 mililitros de glicerina, 40 mililitros de agua y 3 mililitros de ácido acético. Se concluyó que fue la mezcla óptima debido a que se realizaron pruebas de espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad y en todas demostró estar por encima de los demás tratamientos; pero por sobre todo la prueba de tracción fue la decisiva al determinar la mezcla óptima de realización de la lámina biodegradable y la razón es que, a diferencia de los demás tratamientos el elegido como óptimo demostró tener mayor porcentaje de elongación y carga máxima.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda antes que realizar cualquier tipo de formulación conocer la cantidad de amilosa y amilopectina presente en la verdura, leguminosa o fruta que se vaya a extraer el almidón, ya que, así se puede comenzar con mayor facilidad la experimentación.
- Se recomienda que en un principio se utilicen placas pequeñas hasta lograr determinar la cantidad de la mezcla necesaria para poder tener un producto con el espesor ideal.
- Se recomienda tener el acceso indispensable para trabajar en un ambiente de laboratorio, ya que, por esta ocasión varios de los procedimientos fueron hechos en casa por razón de la pandemia.

## **BILIOGRAFÍA**

**AIMPLAS y INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PLÁSTICO.** *Flash Económico de la Industria del Plástico.* Observatorio del PLÁSTICO [en línea], (2010), pp. 1-11. [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: [http://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/104150726Flash\\_Noviembre\\_2011.pdf](http://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/104150726Flash_Noviembre_2011.pdf).

**ALCÁZAR-ALAY, S.C. y MEIRELES ALMEIDA, M.A.** Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, (2015), vol. 35, no. 2, pp. 215-236. [Consulta: 10 Enero 2021]. ISSN 1678457X. DOI 10.1590/1678-457X.6749.

**ALIMENTARIOS, G.D.P.** Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador, (2011). *Innotec*, vol. 0, no. 4, pp. 33-36. ISSN 1688-3691.

**ÁLVAREZ-DA SILVA, L.** *Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxialcanoatos.* (2016) S.l.: s.n.

**ARISTIZÁBAL, J. y SÁNCHEZ, T.** *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* [en línea], (2007). S.l.: s.n. ISBN 978-92-5-305677-4. [Consulta: 18 Enero 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.

**CENTURION, 2021.** *StatGraphics XVII.* 2021. S.l.: s.n. XVII.

**ECOEMBES.** *Proyecto de Análisis de Bioplásticos,* (2009) S.l.: s.n.

**ECUATORIANA, C. EX AC. ,** (2014).

**ENRÍQUEZ, M., VELASCO, R. y ORTIZ, V.** Composición Y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas En Almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,* (2012), vol. 10, no. 1, pp. 182-192.

**FAO.** Análisis físicoquímico del almidón. *Guía técnica para la producción y análisis de almidon de Yuca.*(1999), vol. 140, pp. 61-134.

**FERRÉ, J.** El diseño factorial completo  $2^k$ . (2002) . S.l.:

**FLORES-GOROSQUERA, E., GARCÍA-SUÁREZ, F.J., FLORES-HUICOCHEA, E., NÚÑEZ-SANTIAGO, M.C., GONZÁLEZ-SOTO, R.A. y BELLO-PÉREZ, L.A.** Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, (2004), vol. 55, no. 1, pp. 86-90. ISSN 00015504.

**GARCÍA, M.** Taxonomía lenteja. *Taxonomía en Plantas* [en línea], (2017). [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: <http://taxonomiaenplantas2017.blogspot.com/2017/11/lenteja.html>.

**GIBBENS, S.** Todo lo que necesitas saber sobre los bioplásticos. *National Geographic* [en línea], (2020). [Consulta: 18 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/11/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-bioplasticos>.

**GUAMÁN, Jenn.** Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial. *Facultad de ciencias*, (2019), pp. 1-54.

**GUAMÁN, Jenny.** Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador 2019. pp. 1-54

**HOLGUIN CARDONA, J.S.** *OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA*. (2019), S.l.: s.n.

**INEN INEN 2043.** PLÁSTICOS. *MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN*.

**LABEAGA, A.** *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones*. (2018) S.l.: s.n.

**MEZA RAMOS, P.N.** *Elaboración De Bioplásticos a Partir De Almidón Residual Obtenido De Peladoras De Papa Y Determinación De Su Biodegradabilidad a Nivel De Laboratorio* [en línea], (2016). [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**NÁRVAEZ, M.** UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ Colegio de Ciencias e Ingenierías Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón, (2016). *Edimarket*,

**NAVARRO, R.** Verdes, rojas o negras: tipos de lentejas y sus recetas habituales. *El Mundo* [en línea], (2019). [Consulta: 18 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/metropoli/gastronomia/2019/10/01/5d91b33bfdddf2fa78b465a.html>.

**NTE INEN 2636:2012.** *Terminología Relativa a Plásticos Degradables* [en línea], (2012). S.l.: s.n. [Consulta: 18 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2636.pdf>.

**PALOU, N.** Lentejas, energéticas y saludables para el corazón. *La Vanguardia* [en línea], (2017). [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20170203/413987499802/lentejas-nutricion-colesterol-corazon-energia-proteinas-fibra.html#:~:text=Las lentejas son una buena,con todo tipo de alimentos.&text=“En 100 gramos de lentejas,1%2C7 gramos son lípidos.>

**PARRA, J.** *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* (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador (2019).

**SIERRA, A., SOLANO, F. y VALDERRAMA, J.** Elaboración de bioplástico a partir del almidón presente en papas. [en línea], (2016). [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: [https://dspace.umad.edu.mx/bitstream/handle/11670/264/10\\_Secundaria\\_Elaboracion-de-bioplastico-a-partir-del-almidon-presente-en-papas\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.umad.edu.mx/bitstream/handle/11670/264/10_Secundaria_Elaboracion-de-bioplastico-a-partir-del-almidon-presente-en-papas_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y).


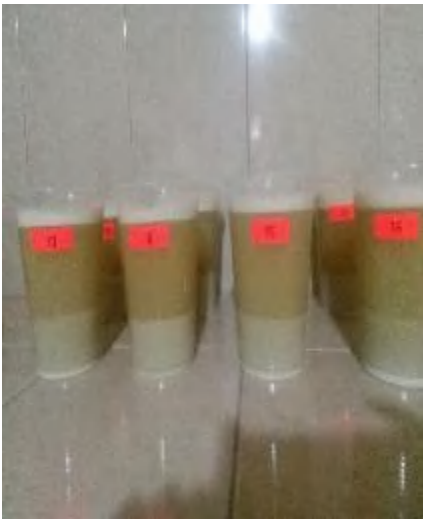


**TRONCOSO HEROS, O.** *Estudio de las propiedades mecánicas de biopolímeros nanoestructurados presentes en la naturaleza.* (2014), S.l.: s.n.

**TUBÓN, I.** *Formulación, Elaboración y Evaluación de Bioenvase para Caramelos a Base de Almidón de Yuca, Sacarosa y Gelatina* [en línea], (2013). [Consulta: 18 Enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2572>.

**VERA ÁLVAREZ, F.E.** *DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE USO DEL ALMIDÓN MODIFICADO EN EL MEJORAMIENTO DE FORMULAS ALIMENTICIAS, (2011).*  
S.l.: s.n.

## ANEXOS

### ANEXO A. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LENTEJA (LENS CULINARIS)

a.	b.	c.	d.		
					
<p align="center"><b>NOTAS</b></p>	<p align="center"><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> </p> <p align="center">Elaborado por:</p> <p align="center">Manuel Alejandro Flores Albán</p>	<p align="center"><b>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE LENTEJA (<i>Lens culinaris</i>)</b></p>		
<p>a. Pesado lenteja</p> <p>b. Repeticiones Sedimentando</p> <p>c. Sedimentación 24 horas</p> <p>d. Triturado de la materia prima</p>	<p>➤ Aprobado</p> <p>➤ Certificado</p> <p>➤ Por aprobar</p> <p>➤ Por calificar</p> <p>➤ Por verificar</p>		<p align="center"><b>LÁMINA</b></p>	<p align="center"><b>ESCALA</b></p>	<p align="center"><b>FECHA</b></p>
			<p align="center"><b>1</b></p>	<p align="center"><b>1:1</b></p>	<p align="center">2020/11/16</p>



**ANEXO B.** Extracción del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

a.



b.






c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE LENTEJA ( <i>Lens culinaris</i> )		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
<p>a. Secado de almidón (natural)</p> <p>b. Almidón seco</p> <p>c. Almidón repeticiones.</p>	<p>➤ Aprobado</p> <p>➤ Certificado</p> <p>➤ Por aprobar</p> <p>➤ Por calificar</p> <p>➤ Por verificar</p>	<p>Elaborado por:</p> <p>Manuel Alejandro Flores Albán</p>	1	1:1	11/08/2021

**ANEXO C.** Caracterización del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 			
<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p>	<p><b>CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DE LENTEJA (<i>Lens culinaris</i>)</b></p>		
<p>a. Secado en horno del almidón.  b. Almidón seco por horno  c. Tamizaje de almidón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aprobado</li> <li>➤ Certificado</li> <li>➤ Por aprobar</li> <li>➤ Por calificar</li> <li>➤ Por verificar</li> </ul>	<p>Elaborado por:  Manuel Alejandro Flores Albán</p>	<p><b>LÁMINA</b></p>	<p><b>ESCALA</b></p>	<p><b>FECHA</b></p>
			<p><b>1</b></p>	<p><b>1:1</b></p>	<p>11/08/2021</p>

**ANEXO D.** Caracterización del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

a.



b.



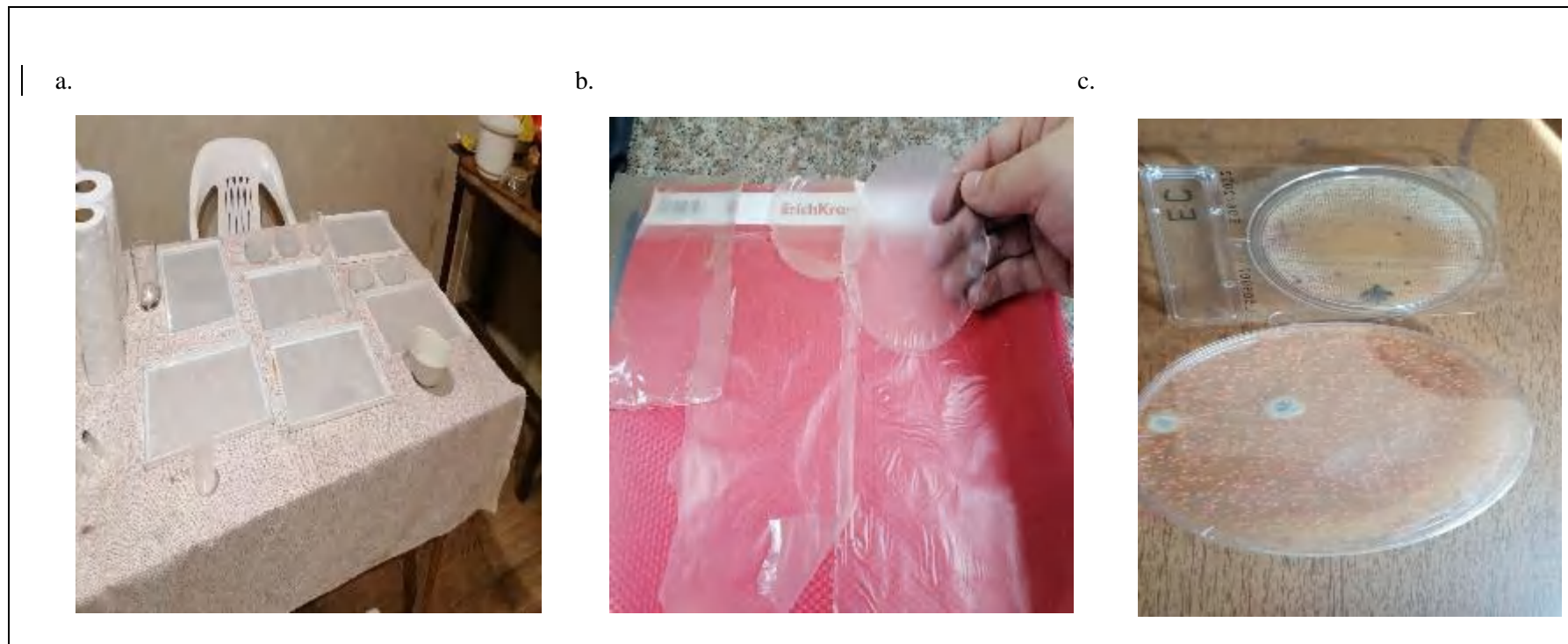
c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DE LENTEJA ( <i>Lens culinaris</i> )		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
<p>a. <i>Determinación de temperatura de gelatinización del almidón.</i></p> <p>b. <i>Medición pH.</i></p> <p>c. <i>Batido en shaker</i></p>	<p>➤ <i>Aprobado</i></p> <p>➤ <i>Certificado</i></p> <p>➤ <i>Por aprobar</i></p> <p>➤ <i>Por calificar</i></p> <p>➤ <i>Por verificar</i></p>	<p>Elaborado por:</p> <p>Manuel Alejandro Flores Albán</p>	1	1:1	11/08/2021







**ANEXO E.** Formulación de biopelículas a partir de almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)






NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Elaborado por: Manuel Alejandro Flores Albán	FORMULACIÓN DE BIOPELICULAS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LENTEJA ( <i>Lens culinaris</i> )		
a. Formulaciones biopelícula b. Bioplástico listo. c. Pruebas microbiológicas.	➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	11/08/2021

**ANEXO F.** Caracterización de las biopelículas a partir del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

a.	b.	c.	d.		
					
<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS</b>		
<i>a. Determinación de permeabilidad.</i> <i>b. Ceniza.</i> <i>c. Elastómetro.</i> <i>d. Ensayo de tracción.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Aprobado</i></li> <li>➤ <i>Certificado</i></li> <li>➤ <i>Por aprobar</i></li> <li>➤ <i>Por calificar</i></li> <li>➤ <i>Por verificar</i></li> </ul>	Elaborado por: Manuel Alejandro Flores Albán	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			<b>1</b>	<b>1:1</b>	11/08/2021

**ANEXO G.** Determinación de biodegradabilidad de las biopelículas a partir del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

<p>a.</p> 	<p>b.</p> 	<p>c.</p> 			
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DEGRADACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS		
<p>a. Bioplástico en agua (día 1). b. Bioplástico en agua (día 29). c. Biodegradación en aire (día 1).</p>	<p>➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar</p>	<p>Elaborado por:  Manuel Alejandro Flores Albán</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	11/08/2021

**ANEXO H.** Análisis de aplicación con la frutilla de las biopelículas a partir del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

a.



b.



c.



d.





NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	RECUBRIMIENTO DE LA FRUTILLA CON LA BIOPELÍCULA		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
<p>a. Biodegradación aire (día 29).</p> <p>b. Biodegradación suelo (día 1)</p> <p>c. Frutilla embalada con el bioplástico al día 7.</p> <p>d. Frutilla cubierta con biofilm.</p>	<p>➤ Aprobado</p> <p>➤ Certificado</p> <p>➤ Por aprobar</p> <p>➤ Por calificar</p> <p>➤ Por verificar</p>	<p>Elaborado por:</p> <p>Manuel Alejandro Flores Albán</p>	1	1:1	11/08/2021



ANEXO I. Informe de prueba de Amilosa del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)

MC-LSAIA-2201-07

	<p><b>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b>  <b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b>  <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD</b>  <b>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS</b>                  Panamericana Sur Km. 1, Curugagua D.N., 2090591-3037134. Fax 3207134                  Casilla postal 17-01-340</p>	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-083

**\*\*NOMBRE PETICIONARIO:** Sr. Manuel Alejandro Flores  
**\*\*DIRECCIÓN:** Ribamba  
**FECHA DE EMISIÓN:** 19 de abril de 2021  
**FECHA DE ANÁLISIS:** Del 1 al 18 de abril de 2021

**\*\*INSTITUCIÓN:** Particular  
**\*\*ATENCIÓN:** Sr. Manuel Alejandro Flores  
**FECHA DE RECEPCIÓN.:** 01/04/2021  
**HORA DE RECEPCIÓN:** 09H53  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA <sup>1)</sup>				**IDENTIFICACIÓN
<b>METODO</b>	MD-LSAIA-01.01	MD-LSAIA-04				
<b>METODO REF.</b>	U. FLORIDA 1978	Monteón y Laguarda 1983				
<b>UNIDAD</b>	%	%				
21-0551	13,08	58,79				Almidón de lenteja

Los ensayos marcados con (X) se reportan en base seca.  
**OBSERVACIONES:** Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

  
 IVAN SAMANIEGO  
 SAMANIEGO  
 NACDGA  
**Dr. Ivan Samaniego**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



  
 BLADIMIR  
 ESPAIN ORTIZ  
 SANCOS  
**Ing. Bladimir Ortiz**  
**RESPONSABLE CALIDAD**

Este documento no puede ser reproducido en total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.

**NOTA DE DESCARGO:** La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por éste. Si el lector de este correo electrónico o éste no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra estrictamente prohibida. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor, notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio en los estados confidenciales, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y está sujeta por ley a ser confidencial.

Los datos marcados con (X) son suministrados al cliente. El laboratorio no se responsabiliza por este resultado.



## ANEXO J. Informe prueba de probeta del tratamiento 1

### INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN	Nº 1
REALIZADO POR	MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN
TEMA DE TESIS	ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA LENTEJA ( <i>Lens culinaris</i> ) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	1
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	03-2021 LÁMINA COLOR BLANCO SEMITRANSARENTE
ESPEOR (mm)	0,1
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	65
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3,009
CARGA MÁXIMA (N)	5,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3,933
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	10,769

Aprobado por

  
Ing. Julio Llerena



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

ANEXO K. Informe prueba de probeta del tratamiento 2

**INFORME DE RESULTADOS**

ENSAYO DE TRACCIÓN	Nº 2
REALIZADO POR	MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN
TEMA DE TESIS	ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA ZEMTEJA (Linn cultrinis) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	1
REPETICIÓN	2
FECHA DE FABRICACIÓN	08-2023
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	LÁMINA COLOR BLANCO SEMITRASPARENTE
ESPESOR (mm)	0,1
ANCHURA (mm)	18
LONGITUD INICIAL (mm)	65
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3,009
CARGA MÁXIMA (N)	3,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	2,600
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	13,846

Aprobado por

Ing. Julio Llerena



**TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES**

## INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN	Nº 3
REALIZADO POR	MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN
TEMA DE TESIS	ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA LENTEJA (Lens culinaris) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	2
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	05-2021
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	LÁMINA COLOR BLANCO SEMITRANSARENTE
ESPESOR (mm)	0,1
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	65
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3,009
CARGA MÁXIMA (N)	4,5
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3,008
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	18,462

Aprobado por

  
Ing. Julio Herrera



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

## INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 5
REALIZADO POR	MANUEL ALEJANDRO FLORES ALBÁN
TEMA DE TESIS	ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA LENTEJA (Lens culinaris) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	9
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	09-2021
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	LÁMINA COLOR BLANCO SEMITRANSARENTE
ESPESOR (mm)	0,2
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	65
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3,009
CARGA MÁXIMA (N)	2,0
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	1,333
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	3,154

Aprobado por

  
Ing. Julio Llerena



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CEMENTOS Y FIBRAS AGRICOLAS

ANEXO N. Informe del análisis microbiológico del almidón de Lenteja (*Lens culinaris*)



RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE ALMIDÓN

NOMBRE: Manuel Alejandro Flores Albán
TIPO DE MUESTRA: Almidón de Lenteja
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 2021-03-29
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 2021-04-05

Examen Físico

COLOR: Blanco.
OLOR: Inoloro.
ASPECTO: Polvo.

Examen Microbiológico

Almidón de Lenteja			
Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g		80
Coliformes Fecales ( <i>Escherichia coli</i> )	UFC/g	<10	10
Mohos y levaduras	UFC/g	1000-5000	4000

Valores de Referencia tomados de Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca (FAO).

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO.

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Contáctanos: 0998580374 - 032924322

Av. 11 de noviembre y Milton Reyes      Riobamba – Ecuador



**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:** 27 / 09 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Manuel Alejandro Flores Alban</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero Químico</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



1683-DBRA-UTP-2021