



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (*Zea mays L*)  
Y QUINUA (*Chenopodium quinoa*) PARA ENVOLTURAS  
ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES”**

**Trabajo de Titulación:**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA UGSIÑA

**DIRECTORA:** ING. VIOLETA MARICELA DALGO FLORES Mgs.

**Riobamba – Ecuador**

2021

© 2021, Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña

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

Yo, Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi auditoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora 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, 22 de junio de 2021

ALEXANDRA  
ABIGAIL  
LEDESMA  
UGSIÑA

Firmado digitalmente por ALEXANDRA  
ABIGAIL LEDESMA UGSIÑA  
Nombre de reconocimiento (DN):  
cn=ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA  
UGSIÑA, serialNumber=1501248270,  
ou=AUTORIDAD DE CERTIFICACION  
ESPOCH DTIC, o=ESPOCH DTIC,  
l=RIOBAMBA, c=EC  
Fecha: 2021.06.25 23:14:13 -05'00'

**Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña**

**CI: 150124827-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (*Zea mays L*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa*) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES**, realizado por la señorita: **ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA UGSIÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, 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. Paúl Gustavo Palmay Paredes MsC. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES</b> -----	2021-06-22
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores Mgs. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>VIOLETA MARICELA DALGO FLORES</b> -----	2021-06-22
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos MsC. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS</b> -----	2021-06-22

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico primordialmente a Dios quién supo guiarme por el buen camino, brindándome la oportunidad de vivir y bendiciéndome siempre en todo momento para continuar con mis metas planteadas sin decaer en ningún momento.

A mis padres Luis Ledesma y Fanny Ugsiña, quienes, con su apoyo incondicional, cariño y confianza me ayudaron con los recursos económicos necesarios que me permitieron culminar con mi carrera profesional. Siempre me han enseñado que con valores, principios y perseverancia se logra vencer todos los obstáculos que se nos presentan en la vida.

A mi hermana Jessica Ledesma, por estar siempre presente en cada paso que daba, compartiendo momentos significativos conmigo, escuchándome y enseñándome que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A mis amigos con los cuales compartí los mejores momentos de mi vida universitaria apoyándonos unos a otros buscando siempre el beneficio para todos.

**Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición ha dirigido e iluminado mi camino, dándome la fuerza necesaria para culminar con éxito mi objetivo.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente en toda mi carrera universitaria.

Así mismo, agradezco profundamente a mi hermana Jessica Ledesma que con sus palabras de apoyo me ha dado los ánimos necesarios para seguir adelante.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Mi profundo y sincero agradecimiento a la Ingeniera Violeta Dalgo y Linda Flores, por brindarme su tiempo y asesoramiento, ya que gracias a sus consejos y sugerencias hoy puedo culminar con mi trabajo de titulación.

A todos mis amigos y amigas que gracias a su apoyo moral me dieron fuerzas para terminar con éxito mis estudios.

**Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	3
1.1 Identificación del Problema.....	3
1.2 Justificación de la Investigación.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	7
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	7
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	7

### CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	8
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	8
2.2 Marco Conceptual o Glosario.....	11
2.2.1 <i>Empaque</i> .....	11

<b>2.2.2</b>	<b><i>Empaque Biodegradable</i></b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.3</b>	<b><i>Maíz</i></b> .....	<b>12</b>
2.2.3.1	<i>Definición</i> .....	12
2.2.3.2	<i>Origen</i> .....	12
2.2.3.3	<i>Taxonomía</i> .....	13
2.2.3.4	<i>Clasificación racial del maíz</i> .....	13
2.2.3.5	<i>Aplicaciones industriales del almidón de maíz</i> .....	15
2.2.3.6	<i>Composición nutricional del maíz</i> .....	16
<b>2.2.4</b>	<b><i>Quinua</i></b> .....	<b>16</b>
2.2.4.1	<i>Definición</i> .....	16
2.2.4.2	<i>Origen</i> .....	17
2.2.4.3	<i>Taxonomía</i> .....	17
2.2.4.4	<i>Variedades de quinua</i> .....	18
2.2.4.5	<i>Aplicaciones industriales de la quinua</i> .....	19
2.2.4.6	<i>Composición nutricional de la quinua</i> .....	20
<b>2.2.5</b>	<b><i>Bioplástico</i></b> .....	<b>21</b>
2.2.5.1	<i>Clasificación de los biopolímeros</i> .....	21
<b>2.2.6</b>	<b><i>Almidón</i></b> .....	<b>22</b>
2.2.6.1	<i>Estructura del almidón</i> .....	22
<b>2.2.7</b>	<b><i>Gelatinización</i></b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.8</b>	<b><i>Plastificante</i></b> .....	<b>24</b>
2.2.8.1	<i>Agua destilada</i> .....	24
2.2.8.2	<i>Ácido Acético (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)</i> .....	24
2.2.8.3	<i>Glicerina</i> .....	24
<b>2.2.9</b>	<b><i>Biodegradabilidad</i></b> .....	<b>25</b>
2.2.9.1	<i>Tipos de biodegradación</i> .....	25



2.2.9.2	<i>Métodos para medir la biodegradación</i> .....	26
<b>2.3</b>	<b>Planteamiento de las Hipótesis</b> .....	<b>27</b>
2.3.1	<i>Hipótesis General</i> .....	27
2.3.2	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	27
<b>2.4</b>	<b>Identificación de Variables</b> .....	<b>27</b>
2.4.1	<i>Variables Independientes</i> .....	27
2.4.2	<i>Variables Dependientes</i> .....	28
<b>2.5</b>	<b>Operacionalización de Variables</b> .....	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Matriz de Consistencia</b> .....	<b>31</b>
<b>2.7</b>	<b>Tipo y Diseño de la Investigación</b> .....	<b>32</b>
2.7.1	<i>Tipo de Investigación</i> .....	32
2.7.2	<i>Diseño de Investigación</i> .....	33
<b>2.8</b>	<b>Unidad de análisis</b> .....	<b>34</b>
<b>2.9</b>	<b>Población de estudio</b> .....	<b>35</b>
<b>2.10</b>	<b>Tamaño de Muestra</b> .....	<b>35</b>
<b>2.11</b>	<b>Selección de Muestra</b> .....	<b>35</b>
<b>2.12</b>	<b>Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	<b>36</b>
2.12.1	<i>Técnicas de Extracción del Almidón de Maíz y Quinoa</i> .....	36
2.12.2	<i>Ensayos de Caracterización para los almidones de quinua y maíz</i> .....	41
2.12.3	<i>Elaboración del bioplástico a partir de las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2<sup>k</sup></i> .....	41
2.12.3.1	<i>Formulaciones</i> .....	41
2.12.3.2	<i>Obtención del Bioplástico de Maíz y Quinoa</i> .....	43
2.12.4	<i>Ensayos de Caracterización de los Bioplásticos</i> .....	45
2.12.4.1	<i>Espesor de los bioplásticos</i> .....	46
2.12.4.2	<i>Humedad</i> .....	46

2.12.4.3	<i>Solubilidad en el agua</i> .....	46
2.12.4.4	<i>Transmisión de vapor de agua</i> .....	47
2.12.4.5	<i>Ensayos de Tracción</i> .....	48
2.12.4.6	<i>Biodegradabilidad</i> .....	49
2.12.4.7	<i>Análisis Microbiológico</i> .....	50

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Datos obtenidos de los ensayos físicos-químicos realizados a la materia prima</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.1.</b>	<b><i>Caracterización física de las semillas de maíz y quinua</i></b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.2.</b>	<b><i>Resultados obtenidos del rendimiento de los almidones de maíz y quinua</i></b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.3</b>	<b><i>Análisis estadístico del rendimiento del almidón de maíz y quinua</i></b> .....	<b>55</b>
<b>3.1.4</b>	<b><i>Caracterización del almidón de maíz y quinua mediante análisis físico-químicos</i></b> .....	<b>60</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterización físico-química y mecánica del bioplástico de maíz y quinua</b> .....	<b>61</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Evaluación del análisis sensorial del bioplástico de maíz y quinua</i></b> .....	<b>64</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Cálculos realizados para determinar las propiedades físico-químicas y mecánicas del bioplástico de maíz y quinua</i></b> .....	<b>66</b>
<b>3.2.3.1</b>	<b><i>Cálculo del porcentaje de humedad</i></b> .....	<b>66</b>
<b>3.2.3.2</b>	<b><i>Cálculo del porcentaje de solubilidad</i></b> .....	<b>67</b>
<b>3.2.3.3</b>	<b><i>Cálculo del grado de transmisión de vapor de agua</i></b> .....	<b>67</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Resultados obtenidos de la caracterización físico-química y mecánica del bioplástico de maíz y quinua</b> .....	<b>69</b>
<b>3.2.4.1</b>	<b><i>Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de maíz y quinua</i></b> .....	<b>69</b>
<b>3.2.4.2</b>	<b><i>Resultados obtenidos del ensayo de humedad del bioplástico de maíz y quinua</i></b> .....	<b>70</b>
<b>3.2.4.3</b>	<b><i>Resultados obtenidos del ensayo de solubilidad del bioplástico de maíz y quinua</i></b> .....	<b>71</b>

3.2.4.4	<i>Resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad de vapor de agua para el bioplástico de maíz y quinua</i> .....	71
3.2.4.5	<i>Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas del bioplástico de maíz y quinua.</i>	73
3.2.4.6	<i>Resultados obtenidos del análisis microbiológico de los bioplásticos de maíz y quinua.</i>	73
<b>3.3</b>	<b>Resumen de los resultados de la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua</b> .....	<b>75</b>
<b>3.4</b>	<b>Determinación de la biodegradabilidad de los bioplásticos en base a la norma EN 13432</b> .....	<b>76</b>
3.4.1	<i>Resultados obtenidos del ensayo de biodegradabilidad de los bioplástico de maíz y quinua</i> .....	77
<b>3.5</b>	<b>Prueba de Hipótesis</b> .....	<b>85</b>
3.5.1	<i>Hipótesis 1</i> .....	85
3.5.2	<i>Hipótesis 2</i> .....	87
3.5.3	<i>Hipótesis 3</i> .....	87
3.5.4	<i>Hipótesis 4</i> .....	88
<b>3.6</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>89</b>
3.6.1	<i>Análisis de resultados de la caracterización física de las semillas de maíz y quinua.</i>	89
3.6.2	<i>Análisis de la caracterización físico química del almidón de maíz y quinua</i> .....	89
3.6.2.1	<i>Análisis de resultados de los métodos de extracción de los almidones.</i>	89
3.6.2.2	<i>Análisis de los resultados de la composición química del almidón de maíz y quinua.</i>	90
3.6.3	<i>Análisis de resultados de la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua</i> .....	90
3.6.3.1	<i>Análisis sensorial</i> .....	91
3.6.3.2	<i>Espesor</i> .....	91
3.6.3.3	<i>Humedad</i> .....	91
3.6.3.4	<i>Solubilidad</i> .....	92
3.6.3.5	<i>Ensayo de permeabilidad de vapor</i> .....	92

3.6.3.6	<i>Ensayo de tracción</i> .....	92
3.6.3.7	<i>Análisis microbiológico</i> .....	93
3.6.4	<b><i>Biodegradabilidad</i></b> .....	<b>93</b>
3.6.5	<b><i>Aplicación</i></b> .....	<b>94</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>96</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>98</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Descripción taxonómica del maíz.....	13
<b>Tabla 2-2:</b>	Clasificación racial del maíz.....	14
<b>Tabla 3-2.</b>	Usos industriales del almidón.....	15
<b>Tabla 4-2.</b>	Composición nutricional del maíz.....	16
<b>Tabla 5-2:</b>	Descripción taxonómica de la quinua.....	18
<b>Tabla 6-2:</b>	Clasificación de las variedades de quinua.....	18
<b>Tabla 7-2.</b>	Principales usos de la quinua.....	19
<b>Tabla 8-2.</b>	Composición nutricional de la quinua.....	20
<b>Tabla 9-2.</b>	Clasificación de los biopolímeros.....	21
<b>Tabla 10-2:</b>	Operacionalización de Variables.....	29
<b>Tabla 11-2:</b>	Matriz de Consistencia.....	31
<b>Tabla 12-2.</b>	Valores designados para cada una de las variables.....	34
<b>Tabla 13-2.</b>	Técnicas de extracción del almidón de quinua y maíz.....	37
<b>Tabla 14-2.</b>	Análisis proximal realizado para la caracterización de los almidones.....	41
<b>Tabla 15-2.</b>	Formulaciones planteadas para la obtención del bioplástico de maíz en base al diseño factorial $2^k$ .....	42
<b>Tabla 16-2.</b>	Formulaciones planteadas para la obtención del bioplástico de quinua en base al diseño factorial $2^k$ .....	42
<b>Tabla 17-2.</b>	Esquema del diseño experimental para la obtención del bioplástico de maíz y quinua.....	43
<b>Tabla 18-2.</b>	Proceso de Obtención de los Bioplásticos.....	44
<b>Tabla 19-2.</b>	Análisis microbiológico realizado al bioplástico de maíz y quinua.....	50
<b>Tabla 1-3.</b>	Resultados obtenidos de la caracterización física de las semillas de maíz y quinua.....	51
<b>Tabla 2-3.</b>	Variables utilizadas en la extracción de almidones de maíz y quinua.....	52
<b>Tabla 3-3.</b>	Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de almidón de maíz.....	53
<b>Tabla 4-3.</b>	Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de almidón de quinua.....	54
<b>Tabla 5-3.</b>	Análisis de varianza del rendimiento del almidón de maíz.....	55
<b>Tabla 6-3.</b>	Análisis de medias por mínimos cuadrados para el rendimiento del almidón de maíz con intervalo de confianza del 95.0 %.....	55

<b>Tabla 7-3.</b>	Análisis de varianza del rendimiento del almidón de quinua. ....	57
<b>Tabla 8-3.</b>	Análisis de medias por mínimos cuadrados para el rendimiento del almidón de quinua con intervalo de confianza del 95.0 %.....	58
<b>Tabla 9-3.</b>	Resultados obtenidos de la caracterización físico-química del almidón de maíz. ....	60
<b>Tabla 10-3.</b>	Resultados obtenidos de la caracterización físico-química del almidón de quinua. .	61
<b>Tabla 11-3.</b>	Pruebas preliminares para la elaboración del bioplástico de maíz.....	62
<b>Tabla 12-3.</b>	Pruebas preliminares para la elaboración del bioplástico de quinua.....	62
<b>Tabla 13-3.</b>	Resultados obtenidos del análisis sensorial del bioplástico de maíz. ....	64
<b>Tabla 14-3.</b>	Resultados obtenidos del análisis sensorial del bioplástico de quinua. ....	65
<b>Tabla 15-3.</b>	Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de maíz. ....	69
<b>Tabla 16-3.</b>	Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de quinua. ....	70
<b>Tabla 17-3.</b>	Resultados del ensayo de humedad del bioplástico de maíz y quinua.....	70
<b>Tabla 18-3.</b>	Resultados del ensayo de solubilidad del bioplástico de maíz y quinua.....	71
<b>Tabla 19-3.</b>	Datos para determinar la permeabilidad de vapor de agua. ....	71
<b>Tabla 20-3.</b>	Datos para determinar la permeabilidad de vapor de agua. ....	72
<b>Tabla 21-3.</b>	Resultados de la tasa de transmisión de vapor del bioplástico de maíz y quinua. ....	72
<b>Tabla 22-3.</b>	Resultados de la permeabilidad de vapor del bioplástico de maíz y quinua.....	72
<b>Tabla 23-3.</b>	Resultados del ensayo de tracción de los bioplásticos de maíz y quinua.....	73
<b>Tabla 24-3.</b>	Resultados del análisis microbiológico de los bioplásticos de maíz y quinua. ....	74
<b>Tabla 25-3.</b>	Resumen de la caracterización físico-química de los bioplásticos de maíz y quinua.	75
<b>Tabla 26-3.</b>	Resumen de la caracterización mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua. ....	76
<b>Tabla 27-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio anaerobio.....	78
<b>Tabla 28-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio aerobio. ....	78
<b>Tabla 29-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio acuoso. ....	79
<b>Tabla 30-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio anaerobio.....	79
<b>Tabla 31-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio aerobio. ....	80
<b>Tabla 32-3.</b>	Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio acuoso. ....	80
<b>Tabla 33-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio anaerobio. ....	81
<b>Tabla 34-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio aerobio.....	82
<b>Tabla 35-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio acuoso.....	82
<b>Tabla 36-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio anaerobio.....	83
<b>Tabla 37-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio aerobio.....	84
<b>Tabla 38-3.</b>	Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio acuoso. ....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Bioplástico de Maíz .....	11
<b>Figura 2-2:</b>	Maíz Tierno.....	12
<b>Figura 3-2:</b>	Quinoa Tierna.....	17
<b>Figura 4-2:</b>	Estructura Molecular de la Amilosa.....	22
<b>Figura 5-2:</b>	Estructura Molecular de la Amilopectina .....	23
<b>Figura 6-2:</b>	Representación del Diseño Factorial $2^k$ .....	33
<b>Figura 7-2:</b>	Diagrama de flujo para la obtención del almidón de quinua por vía seca. ....	39
<b>Figura 8-2:</b>	Diagrama de flujo para la obtención del almidón de maíz por vía húmeda.....	40
<b>Figura 9-2:</b>	Diagrama de flujo para la obtención de los bioplásticos.....	45
<b>Figura 10-2:</b>	Probeta Tipo A.....	49
<b>Figura 1-3:</b>	Bioplástico obtenido a partir de almidón de maíz, obtenidos a diferentes concentraciones de almidón, agua y glicerina. (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3, (d) TM4.....	63
<b>Figura 2-3:</b>	Bioplástico obtenido a partir de almidón de quinua, obtenidos a diferentes concentraciones de almidón, agua y glicerina. (a) TQ1, (b) TQ2, (c) TQ3, (d) TQ4.....	63
<b>Figura 3-3:</b>	Análisis Microbiológico del Bioplástico de Maíz.....	74
<b>Figura 4-3:</b>	Análisis Microbiológico del Bioplástico de Quinoa.....	74
<b>Figura 5-3:</b>	Prototipo del bioplástico de maíz utilizado como envoltura para alimentos.....	95
<b>Figura 6-3:</b>	Prototipo del bioplástico de quinua utilizado como envoltura para alimentos.....	95

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Análisis de varianza ANOVA para el Rendimiento del Almidón de Maíz. ....	56
<b>Gráfico 2-3:</b>	Representación de los Residuos para el Rendimiento del Almidón de Maíz. ....	57
<b>Gráfico 3-3:</b>	Análisis de varianza ANOVA para el Rendimiento del Almidón de Quinoa. ....	59
<b>Gráfico 4-3:</b>	Representación del Rendimiento para cada tratamiento del Almidón de Quinoa. ....	59
<b>Gráfico 5-3:</b>	Resultados de la Evaluación del Análisis Sensorial del Bioplástico de Maíz. ....	65
<b>Gráfico 6-3:</b>	Resultados de la Evaluación del Análisis Sensorial del Bioplástico de Quinoa. ....	66
<b>Gráfico 7-3:</b>	Comparación de los Resultados de Biodegradabilidad del Bioplástico de Maíz. ....	83
<b>Gráfico 8-3:</b>	Comparación de los Resultados de Biodegradabilidad del Bioplástico de Quinoa. ....	85



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2.</b>	Porcentaje de humedad. ....	46
<b>Ecuación 2-2.</b>	Porcentaje de solubilidad. ....	46
<b>Ecuación 3-2.</b>	Tasa de transmisión de vapor. ....	47
<b>Ecuación 4-2.</b>	Presión parcial de vapor de agua a la temperatura de ensayo. ....	48
<b>Ecuación 5-2.</b>	Permeabilidad de vapor de agua. ....	48
<b>Ecuación 6-2.</b>	Porcentaje de pérdida de masa. ....	50
<b>Ecuación 1-3.</b>	Porcentaje del rendimiento del almidón. ....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Extracción del Almidón de Maíz.
- Anexo B.** Extracción del Almidón de Quinoa.
- Anexo C.** Caracterización Físico – Química del Almidón de Maíz y Quinoa.
- Anexo D.** Elaboración de los Bioplásticos de Maíz y Quinoa.
- Anexo E.** Caracterización Físico-Química de los Bioplásticos de Maíz y Quinoa.
- Anexo F.** Caracterización Mecánica de los Bioplásticos de Maíz y Quinoa.
- Anexo G.** Informe de Resultados del Análisis Proximal del Almidón de Maíz y Quinoa.
- Anexo H.** Informe de Resultados del Ensayo de Tracción del Bioplástico de Maíz.
- Anexo I.** Informe de Resultados del Ensayo de Tracción del Bioplástico de Quinoa.
- Anexo J.** Informe de Resultados del Análisis Microbiológico del Bioplástico de Maíz y Quinoa.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito obtener bioplásticos a partir del almidón de maíz (*Zea mays L*) y almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*) para utilizarlos como envolturas alimenticias biodegradables. La obtención de los bioplásticos inició con la extracción de los almidones de maíz y quinua mediante vía húmeda y vía seca, obteniéndose porcentajes de rendimiento de 14,81 y 12,02 respectivamente. La caracterización físico química de los almidones se efectuó en base a la norma NTE INEN 1456, consiguiendo resultados bastante favorables. Con relación a la obtención de los biopolímeros, se realizó el análisis estadístico mediante el software Statgraphics Centurion correspondiente a un diseño factorial  $2^k$ , donde se plantearon 4 formulaciones distintas, determinando así un límite alto y un límite bajo para las concentraciones de almidón y agua, y manteniendo constante la cantidad de glicerina y vinagre. Con respecto, a la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos, sobresalieron los tratamientos TM3 para el maíz y el TQ1 para la quinua, consiguiendo espesores de (0,20 y 0,15) mm, humedad (37,63 y 30,02) % y solubilidad de (19,38 y 18,02) % respectivamente. Por otro lado, las pruebas mecánicas se efectuaron de acuerdo con la norma NTE INEN 2635 consiguiendo que los ensayos de tracción cumplan con los requisitos de calidad de las láminas plásticas delgadas. En el ensayo de biodegradabilidad, se comprobó que la degradación en medio acuoso es más eficiente que en medio aerobio o anaerobio, ya que en tan solo 20 días las biopelículas se degradaron en un 50 % su estructura física, cumpliendo con lo establecido por la norma EN 13432. Finalmente, mediante pruebas piloto se comprobó que los bioplásticos obtenidos cumplen con las mismas funciones que las envolturas alimenticias sintéticas.

**Palabras clave:** <MAÍZ (*Zea mays L*)>, <QUINUA (*Chenopodium quinoa*)>, <ALMIDÓN>, <CARACTERIZACIÓN>, <BIOPLÁSTICOS>, <PROPIEDADES FÍSICAS>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>, <BIODEGRDABILIDAD>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.05.04 13:02:09  
+05'00'



1097-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The purpose of this research is to obtain bioplastics from corn starch (*Zea mays L*) and quinoa starch (*Chenopodium quinoa*) to be used as biodegradable food wrappers. The production of bioplastics began with the extraction of corn and quinoa starches by wet and dry means, obtaining percentages of yield of 14.81 and 12.02 respectively. The physical and chemical characterization of the starches was carried out on the basis of the NTE INEN 1456 standard, achieving quite favorable results. Regarding the obtaining of the biopolymers, the statistical analysis was carried out using the Statgraphics Centurion software corresponding to a 2k factorial design, in which 4 different formulations were proposed. In this way, a high limit and a low limit were determined for the concentrations of starch and water, and keeping the amount of glycerin and vinegar constant. With regard to the physicochemical and mechanical characterization of bioplastics, TM3 treatments for corn and TQ1 for quinoa stood out, achieving thicknesses of (0.20 and 0.15) mm, humidity (37.63 and 30.02) % and solubility of (19,38 and 18,02) % respectively. On the other hand, the mechanical tests were carried out in accordance with the NTE INEN 2635 standard, ensuring that the tensile tests meet with the quality requirements of thin plastic sheet. In the biodegradability test, it was found that degradation in aqueous medium is more efficient than in aerobic or anaerobic medium, because in just 20 days the biofilms degraded their physical structure by 50%, complying with the provisions of EN 13432. Finally, through pilot tests it was found that the bioplastics obtained fulfill the same functions as synthetic food wrappers.

**Keywords:** <CORN (*Zea mays L*)>, <QUINOA (*Chenopodium quinoa*)>, <STARCH>, <CHARACTERIZATION>, <BIOPLASTICS>, <PHYSICAL PROPERTIES>, <MECHANICAL PROPERTIES>, <BIODEGRDABILITY>.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la evolución de la industria del plástico se ha vuelto indispensable debido a sus diferentes posibilidades de uso, no solo dentro de la producción de alimentos sino también en la vida cotidiana. Habitualmente la elaboración del plástico no ha dejado de crecer, en vista de que ha reemplazado a otro tipo de materiales tales como el cartón, papel y vidrio. Los plásticos gracias a su durabilidad, resistencia y bajo costo han aumentado su utilidad de forma desmesurada. Sin embargo, éstos provocan grandes daños ambientales a causa de que ciertos elementos desechados terminan de una u otra manera en el océano, perjudicando a los diferentes tipos de ecosistemas del planeta, debido a que dicho material tarda ciento de años en degradarse. (Charro, 2015, pp.1-3)

En el 2012 ANIPAC evaluó una producción general de 241 millones de toneladas de consumo de plástico, mientras que para el 2015 la cifra aumentó a 300 millones de toneladas. La adquisición inadecuada de estos productos genera un alto índice de contaminación ambiental provocando daños irreversibles al ambiente. (Vázquez et al.,2015, p.1)

Por otro lado, los plásticos derivados del petróleo tardan cientos de años en degradarse en vista de que no provienen de fuentes renovables, por lo que, buscando una solución a esta problemática, hoy en día las películas biodegradables son nuevos productos que cumplen con las mismas características y funciones que los polímeros sintéticos, y son considerados como una alternativa ecológica para el medio ambiente. Uno de los beneficios que brindan las envolturas biodegradables es que su compostaje logra actuar como fertilizante para el suelo, favoreciendo así a un óptimo desarrollo de los cultivos. (Ballesteros, 2014, pp. 9-12)

El polímero más utilizado para la obtención de películas biodegradables es el almidón, generalmente este carbohidrato es almacenado en las raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. (Iguardia, 2013, p.3). En países latinoamericanos como en el Ecuador existe una alta producción agrícola de cereales, tales como el trigo, cebada, quinua y maíz, los cuales son considerados como fuentes renovables para la elaboración de bioplástico. Específicamente el almidón de maíz y quinua es un biopolímero amigable con el medio ambiente, que al plastificarlo se obtiene un tipo de plástico biodegradable que puede ser utilizado en la industria alimenticia y farmacéutica. (Charro, 2015, pp. 1-5)

Por esta razón, el presente trabajo de investigación se plantea con el propósito de obtener nuevos productos alternativos a los plásticos tradicionales con el fin de utilizarlos como envolturas para

alimentos, además varios estudios han demostrado que los bioplásticos elaborados en base a almidón disponen de las mismas propiedades físico-químicas y mecánicas que los plásticos sintéticos, con un periodo de tiempo de degradación más corto. (Riera , 2020, pp.1-3)

Actualmente en el Ecuador pocas son las industrias alimenticias que utilizan envolturas biodegradables para la distribución de sus productos, dichos materiales provienen de fuentes renovables, bien extraídos de la biomasa, como la celulosa o el almidón, o bien elaborados por microorganismos, siendo así una solución amigable con el ambiente. (Rivera et al., 2019, p.3)

Los biopolímeros simbolizan el 1% de los 400 millones de toneladas de plástico que son generados anualmente. Considerando que la industria alimenticia es el origen principal de la contaminación ambiental debido a la generación de desechos plásticos producidos por la venta de sus productos. Por tal razón, hoy en día las empresas del sector alimenticio buscan disminuir su huella ecológica utilizando láminas biodegradables provenientes de fuentes renovables, con la finalidad de ayudar al ambiente. (Pizá et al. 2017, pp.15-20)

De esta manera la intención que se busca con los bioplásticos es de concientizar a los consumidores hacia productos que empleen criterios de sostenibilidad ambiental, dado que expertos estiman que los biopolímeros están dentro del mercado desde hace una década, pero su producción a nivel industrial se ha desarrollado en los dos o tres últimos años. (Gómez et al., 2007, pp.10-15)

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Identificación del Problema

El Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA), determina que la contaminación plástica se encuentra presente en todas partes, desde las playas de Indonesia hasta en el fondo del océano en el Polo Norte y está aumentando por la cadena alimenticia hasta llegar a nuestras mesas. (Noticias ONU, 2017)

En la actualidad existe una problemática ambiental importante por la contaminación del agua, suelo y aire, provocada en gran medida por los extensos volúmenes de residuos que se generan diariamente. El polietileno y el polipropileno (bolsas plásticas) pueden tardar hasta 500 años en descomponerse. Según algunos reportes, el mundo consume un millón de bolsas plásticas por minuto, es decir, más de 500 billones al año; el aumento incontrolable del plástico ha originado severos problemas ambientales. (Valero et al., 2013, pp.171-175)

La circunstancia mundial es angustiosa, más aún, tomando en cuenta que la producción de plásticos sigue creciendo, consiguiendo así los 380 millones de toneladas alrededor del planeta en el 2015. Estas cifras, su fácil esparcimiento y su largo proceso de descomposición transforman al plástico en el enemigo número uno de mares y océanos. (Greenpeace Internacional, 2019). En Ecuador, según datos del Ministerio del Ambiente (MAE), todo ser humano utiliza cerca de 130 fundas tipo camiseta anualmente, es decir, se generan 117.000 toneladas de plástico al año. (Telégrafo, 2018)

En la capital del Ecuador se producen 2227.36 toneladas de desechos sólidos, por lo que 227.35 toneladas corresponden exclusivamente a plásticos sintéticos, logrando ser reciclados un 3.4 % por recicladores informales.(Medina 2018). Por otro lado, los desechos producidos por la población Quiteña en relación al uso de empaques alimenticios por persona representan el 0,95% al día, destacando también que un 40 % de residuos plásticos corresponde a las actividades agrícolas especialmente en los invernaderos debido a que estos filmes son desechados de manera inadecuada ocasionando

grandes daños al ambiente, no solo por su largo tiempo de descomposición sino porque además transportan con ellos productos como plaguicidas, herbicidas y fungicidas. (Litterthub, 2019, pp.1-15)

Los biopolímeros al provenir de recursos renovables o combustibles fósiles se transforman en una valiosa oportunidad para la industria de los plásticos. Según la International Standard Organization (ISO), los bioplásticos son conocidos como aquellos plásticos que se deterioran por la acción de microorganismos. (Rodríguez , 2012, p.70)

Es por ello, que los bioplásticos están mostrando ser materiales innovadores tanto para la industria del plástico como alimenticia debido a que su mayor parte proceden de recursos renovables, y su tiempo de degradación es más corto, convirtiéndose así en una interesante posibilidad de protección y bienestar para el medio ambiente en vista de que no generan desechos tóxicos o químicos al momento de descomponerse. (Valero et al., 2013, p.172)

Actualmente el almidón es considerado como un material alternativo en algunas aplicaciones termoplásticas, gracias a su biodegradabilidad, disposición y bajo costo. Entre las principales fuentes de almidón para la industria se puede mencionar: el trigo, cebada, arroz, avena y soja. Industrialmente el maíz es uno de los cereales más utilizados para la extracción de almidón con el objetivo de producir materiales que logren sustituir a los plásticos tradicionales, buscando que estos novedosos productos sean más amigables con el medio ambiente, puesto que al estar compuestos por fuentes renovables son fácilmente degradados por microorganismos tales como bacterias, hongos y algas. (Valero et al., 2013, pp. 173-178)



## 1.2. Justificación de la Investigación

Los bioplásticos son composiciones de elevado peso molecular procesado desde fuentes naturales, así como cultivos de poliésteres microbianos, de almidón, celulosa, entre otros. Actualmente el almidón es una materia prima esencial para la producción de biopolímeros, gracias a su alta disposición en la naturaleza, costo accesible, carácter renovable, biodegradabilidad y económicamente competitivo en comparación al petróleo. (Riera, 2020, p.2)

Normalmente las láminas biodegradables se procesan de componentes naturales que se deterioran sencillamente en el entorno, por lo tanto, se necesita de menos energía para reutilizarlos, facilitando así, una producción más rápida y eficiente. (Menoscal y Rodriguez 2017: p.2). Las resinas más usadas para la obtención de bioplásticos se clasifican en dos clases, naturales y sintéticas. Las resinas naturales son aquellas que se extraen de recursos renovables tales como el almidón, celulosa y polihidroxicanoatos (PHA), sintetizados por microorganismos. Y los polímeros sintéticos se obtienen a partir del petróleo, por ende, no son fáciles de descomponer a causa de su elevado peso molecular y estabilidad química. (Ruiz, 2012, p.6)

Los biopolímeros en base a almidón son de bajo costo y se obtienen de recursos agrícolas renovables, asimismo presentan propiedades físico químicas y termoplásticas similares a los polímeros sintéticos, destacando que una de las ventajas que presentan estos bioplásticos es que su período de descomposición no demora más de un año, en vista de que son elaborados desde resinas vegetales, y dado que se desintegran rápidamente son usados como compostaje (abono), por consiguiente contaminan 85% menos que el plástico convencional. Además, son menos dañinos y por tanto disminuye la dependencia del petróleo; de esta manera, los bioplásticos serían la mejor opción para disminuir la contaminación ambiental. (Castillo et al., 2015, pp.3-5)

Por otro lado, varios estudios han verificado que es probable obtener películas plásticas biodegradables dúctiles, a partir del almidón de maíz, quinua y de otros polímeros, así como patentes para procesos de obtención de almidón termoplásticos. (Riera, 2020, p.2)

En la actualidad, el interés por los plásticos biodegradables ha desarrollado grandes alternativas ecológicas, considerando que el almidón y el ácido poliláctico son las fuentes principales para su producción y comercialización como envolturas alimenticias y otras aplicaciones industriales. (Porras y Arana, 2014: p.42)

Frecuentemente las Industrias Alimenticias presentan elevados índices de problemas ambientales a causa de que sus envolturas no son sencillamente reutilizadas, ni medioambientalmente sostenibles

así mismo se vinculan a ciertos riesgos para la salud, por ejemplo, la migración de sustancias nocivas del empaque al alimento. (Innovatec, 2016). Según European Bioplastics, los bioplásticos representan cerca del 1% de los aproximadamente 300 millones de toneladas de plástico que se generan anualmente. En virtud de ello, este tipo de industria tiene gran interés por los biopolímeros en vista de que reducen los daños ambientales provocados por los polímeros sintéticos. (Pizá et al., 2017, p.17)

Otra de las prioridades que busca esta industria es que sus empaques sean completamente biodegradables y, por consiguiente, ayuden en la preservación y protección de cualquier producto alimenticio con el propósito de alargar su vida útil. Dentro de los biopolímeros más usados para la fabricación de envolturas para alimentos son el almidón, celulosa, quitosano, caseína y colágeno. (Rodríguez y Orrego, 2016: pp.253-258)

Por tal motivo, buscando una solución a este problema se propone desarrollar un estudio de obtención de bioplásticos a partir del almidón de maíz y quinua con el fin de minimizar el uso del plástico común, al ser estos productos biodegradables consiguen que todos sus componentes que la integran logren regresar a la naturaleza adaptándose en las fases naturales de la materia.

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

- Obtener bioplástico a partir del maíz (*Zea mays L*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) para utilizarlo como envolturas alimenticias biodegradables.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Caracterizar el almidón extraído del maíz y quinua considerando la Norma NTE INEN 1456 para obtener bioplástico.
- Determinar la calidad del bioplástico del maíz y quinua mediante el análisis de sus propiedades físico-químicas y mecánicas.
- Valorar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido en base a la norma EN 13432 con el fin de analizar el tiempo de descomposición y su utilidad como envolturas alimenticias.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

En los últimos años se han estudiado otras alternativas al uso de plásticos tradicionales cuyas propiedades son similares, tales como los polímeros biodegradables para películas y envases, que permiten disminuir el impacto ambiental ocasionado por la acumulación de materiales sintéticos. (Rodríguez, 2012, p. 69)

El campo de investigación para la elaboración de biopolímeros ha ido creciendo en la última década, principalmente por conciencia ecológica, teniendo como fuentes de materia prima varios productos autóctonos del Ecuador. Al mencionar el maíz (*Zea mays L*) y quinua (*Chenopodium quinoa*), las investigaciones no son muy amplias, por lo cual se tomarán como referencias estudios con el mismo objetivo, enfocados en la obtención y caracterización de bioplásticos, los cuales han sido citados en las siguientes investigaciones previas:

De acuerdo con García Quiñónez (2015, pp. 7-10), en su investigación titulada “OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ”, propone un método de obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz, el cual es un recurso natural renovable. Describe también el procedimiento aplicado para la caracterización del biopolímero mediante pruebas físico – químicas y mecánicas que se realizaron al plástico obtenido a escala de laboratorio. De esta manera se comprobó su resistencia, elongación, espesor y porcentaje de biodegradabilidad, además, para verificar que el bioplástico cumpla con las mismas propiedades que los plásticos sintéticos, se consideró como referencia las normas ASTM respectivas. Se comprobó también que las películas biodegradables brindan una serie de ventajas frente a los plásticos comunes, gracias a que son totalmente descompuestos con facilidad en el medio ambiente. Por último, destaca varios tipos de métodos para comprobar la biodegradabilidad del bioplástico elaborado, el cual van a depender de las condiciones climáticas y la naturaleza de la materia prima para elegir el método adecuado.

Los autores: Quinto Doyla, Córdor Katty, Solano Miguel y Silva Clara estudian en su artículo denominado “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) NEGRA COLLANA, PASANKALLA ROJA Y BLANCA JUNÍN”, establecen que el cultivo de quinua hoy en día es una producción muy competitiva debido a que es considerada por la FAO como un alimento agronómico gracias a la gran capacidad de adaptación. La extracción y caracterización del almidón de quinua ha sido estudiado muy poco, por tal razón se desconoce las propiedades que brinda la quinua para usos específicos dentro de la industria. Mencionan además las técnicas de extracción del almidón de quinua a escala de laboratorio, donde también dicho almidón fue caracterizado química, fisicoquímica y funcionalmente por el método AOAC (2000). Los resultados obtenidos indican que, al determinar el rendimiento de las tres variedades de quinua utilizadas, se encontró que la especie de quinua blanca tiene un rendimiento de 30,64% indicando excelente estabilidad frente al congelamiento y la retrogradación siendo una alternativa interesante de sustitución de los almidones modificados químicamente. (Quinto et al., 2015: pp.44-45)

Según Almeida Alejandra, Ruiz Jimena, López, Nancy y Pettinari Julia (2004: p.122), en su investigación “BIOPLÁSTICOS UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA”, se enfoca en destacar medidas ecológicas para el medio ambiente, los bioplásticos poseen propiedades similares a las de los plásticos derivados del petróleo logrando ser totalmente degradados en corto tiempo por bacterias, hongos y algas; logrando así, ser una alternativa de sustitución frente al plástico sintético. Menciona también que investigan las propiedades de los polihidroxicanoatos (PHA) que son sintetizados por muchas especies de distintos géneros bacterianos los cuales poseen un exceso de fuentes carbonadas y otros nutrientes tales como el nitrógeno o fósforo. Adicionalmente con los resultados obtenidos lograron demostrar que la biodegradabilidad de los PHA, representan un rol muy importante en la supervivencia bacteriana y en los mecanismos de resistencia. (Almeida et al., 2004: p. 122)

En el artículo “COMPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN” de la revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, la investigación se centra en el estudio del polímero más utilizado, que corresponde al almidón, el cual es destinado para la obtención de películas biodegradables con la finalidad de reemplazar a los empaques tradicionales debido a los beneficios que brinda por ser económico, de alta disponibilidad y lo primordial se obtiene de fuentes naturales. Sin embargo, pocas son las industrias alimenticias que hacen uso de empaques biodegradables para la comercialización de productos, debido a la falta de disponibilidad dentro del mercado a comparación de los plásticos sintéticos. Además, se menciona el alto potencial de biopolímeros biodegradables que puede provenir del maíz, papa, trigo, sorgo, yuca,

caña, entre otros, y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición polimérica, de tal manera que, su capacidad de gelificar es alta por tal razón permite moldearlo y formar películas sin problema. Es así que este antecedente, enfatiza el procesamiento de las películas biodegradables basadas en el almidón, y se realiza principalmente mediante tres formas: moldeo, prensado y extrusión, siendo ésta última la técnica más empleada debido a que permite ejecutar varias operaciones tales como mezclado, compresión, calentamiento, moldeo, soplado, entre otras, utilizando solamente un equipo. (Eríquez et al., 2012: pp.182-192)

En 2009, Luna et al., en su investigación: “ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO DE YUCA REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE: PRELIMINARES”, describe la metodología y materiales necesarios para la obtención del termoplástico de yuca, aplicando un método de diseño experimental factorial, con el fin de analizar las propiedades mecánicas como son esfuerzo y elongación en tres mezclas de almidón más fibra de fique al 10, 15 y 20% y almidón termoplástico (TPS) sin fibra, como blanco. Menciona también, que las pruebas mecánicas se procesaron bajo la norma ASTM D638. Resalta además que al cumplir con la norma de calidad ASTM D6400 de empaques biodegradables pueden ser utilizados sin ningún problema, enfocado así a dar mayor énfasis en reducir la contaminación ambiental, siendo una de las características principales del biopolímero su degradación de forma natural y menor tiempo de descomposición. (Luna et al., 2009: pp. 145-151)

Charro Mónica, (2015, pp.1-91) en su trabajo de titulación “OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE PATATA”, explica que para la elaboración del bioplástico se mezcló almidón de papa con distintos plastificantes como la glicerina, alcohol polivinílico y bórax en diferentes concentraciones. Además, una vez obtenido y seleccionado las mejores películas biodegradables se concluye, que el plastificante adecuado fue la glicerina, por lo que se agregó melanina como reticulante con la finalidad de reducir su capacidad higroscópica. Adicionalmente se investigó el cambio de las variables tales como la concentración de almidón, plastificante y reticulante en la elaboración de los biopolímeros, siendo dichas variables modificadas a través de un diseño estadístico factorial 2<sup>2</sup>. Posteriormente dentro de las propiedades que ayudaron a determinar la calidad del plástico obtenido fueron las siguientes: espesor, solubilidad, humedad, biodegradabilidad, permeabilidad, y la tracción en un solo sentido mediante el método de superficie de respuesta con puntos axiales. Resalta además que los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas, físicas y de biodegradabilidad van a cambiar de acuerdo con las diferentes concentraciones de almidón y plastificantes que se utilice en cada una de ellas. Por último, se destaca que se escogió el plástico más sobresaliente para ser usado como recubrimiento de frutas y alimentos gracias a que estos nuevos productos cumplen con las mismas normas de calidad que los plásticos

sintéticos. Tomando en cuenta que, hoy en día las empresas alimenticias buscan reducir el impacto ambiental mediante envases completamente ecológicos con el propósito de reciclar sus desechos.

## **2.2 Marco Conceptual o Glosario**

### ***2.2.1 Empaque***

León (2013: pp.2-4), define a un empaque como un envase o envoltura que tienen el propósito de conservar ciertos productos alimenticios, facilitando su venta y entrega al consumidor o cliente final. Los empaques de alimentos son diseñados para proteger, estando presentes en todos los entornos, además también ayuda a dar una mejor presentación dentro de su producción, distribución y comercialización. (Postigo, 2019, p.25)

### ***2.2.2 Empaque Biodegradable***

Los empaques biodegradables generalmente proceden de fuentes renovables tales como la celulosa o almidón, o bien producidos por microorganismos como los polihidroxialcanoatos (PHA). (Rivera et al., 2019, p. 3). Estos nuevos productos cumplen con la misma función que un empaque de plástico convencional, pero a diferencia de los otros envases, su tiempo de descomposición es más corto, por este motivo varias industrias alimenticias están prefiriendo utilizar envases biodegradables que son más amigables con el medio ambiente. (Postigo, 2019, p.25)



**Figura 1-2: Bioplástico de Maíz**

**Fuente:** (Waller,2019)

### 2.2.3 Maíz

#### 2.2.3.1 Definición

El maíz (*Zea mays L.*) se ha transformado en uno de los cereales más consumidos por el planeta, el cual brinda numerosas aplicaciones tales como nutricionales e industriales. Es empleado para la obtención de almidón, puesto que el grano está formado alrededor de un 70 a 75 % de este. Es por ello, que el maíz es el cereal más utilizado para la elaboración de bioplásticos, como sustituto del plástico convencional y sus derivados que son recursos no renovables. (Riera, 2020, p. 3)



**Figura 2-2:** Maíz Tierno

**Fuente:** (Deras, 2012: p. 34)

#### 2.2.3.2 Origen

El comienzo del maíz ha sido motivo de discusión desde hace mucho tiempo. Varios estudios revelan que esta gramínea tiene su origen en América Central especialmente en México hace unos 7000 años, como resultado de la mutación de una planta silvestre conocida como Teosinte. Se dice que antiguos mexicanos se interesaron en expandir el maíz o también conocido como Elote, por lo cual obtuvieron múltiples especies mutantes. (Abarca, 2014, p. 4)



En Ecuador el cultivo de este cereal se originó hace 6500 años, puesto que investigaciones ejecutadas a partir de fitolitos en muestras de tierra, descubren que en la Península de Santa Elena (Provincia de Santa Elena), los antiguos habitantes de la cultura “Las Vegas” ya comenzaron a sembrar estas poáceas incentivando de esta manera el principio de una incipiente horticultura. (Abarca, 2014, p. 4)

### 2.2.3.3 Taxonomía

El maíz es considerado uno de los cereales alimenticios más consumido y antiguo en el mundo. Perteneciente a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género; (Acosta, 2009, p. 115):

**Tabla 1-2:** Descripción taxonómica del maíz.

Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	<i>Zea</i>
Especie	<i>Mays</i>
Nombre Científico	<i>Zea mays L.</i>

**Fuente:** (Abarca, 2014, p. 4)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.


### 2.2.3.4 Clasificación racial del maíz

Inicialmente la clasificación del maíz, se basó de acuerdo con la variación del grano, siendo esta realizada por Sturtevant de forma artificial, fijándose principalmente en la textura o estructura del endospermo, por lo cual consideró siete grupos; (Acosta, 2009, p. 116)

**Tabla 2-2:** Clasificación racial del maíz.

Nombre	Definición	Figura
<p><b>Maíz tunicado</b> (<i>Zea mays tunicata</i>)</p>	<p>Es una de las especies más primitivas de los maíces cultivados. Se identifican por dar a conocer cada grano envuelto en su propia bráctea. No posee ningún costo comercial.</p>	
<p><b>Maíz reventón</b> (<i>Zea mays everta</i>)</p>	<p>Es una de las variedades de granos pequeños con endospermo cristalino, formado especialmente por almidón córneo. Al ser expuesto al calor da lugar a las conocidas cotufas o palomitas.</p>	
<p><b>Maíz cristalino</b> (<i>Zea mays indurata</i>)</p>	<p>Se distingue por ser semillas con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con fécula en su mayoría córneo.</p>	
<p><b>Maíz amiláceo</b> (<i>Zea mays amilácea</i>)</p>	<p>Generalmente este tipo de cereal tiene granos con endospermo blando, suave amiláceo. Esta clase de maíz “Blanco Gigante del Cuzco” o “Blanco Imperial” es legado del imperio incaico, gracias al gran tamaño de su grano y alto rendimiento.</p>	
<p><b>Maíz dentado</b> (<i>Zea mays idéntata</i>)</p>	<p>Sus granos están constituidos con endospermo compuesto con almidón córneo cristalino. Posee almidón blando suave, gracias a su buena hidratación, el grano adopta una forma característica de diente.</p>	
<p><b>Maíz dulce</b> (<i>Zea mays saccharata</i>)</p>	<p>Sus maíces son dulces y acartonado cuando están maduros. Tienen un gen recesivo en el cromosoma 4, por lo cual dificultan la conversión de ciertos azúcares solubles en almidón.</p>	

Continúa

<p style="text-align: center;"><b>Maíz ceroso</b> <i>(Zea mays ceratina Kul)</i></p>	<p>Generalmente su apariencia es cerosa en el endospermo. Naturalmente el maíz normal o corriente dispone de un polisacárido compuesto por 75% de amilopectina y 25% de amilosa. En cambio, el maíz ceroso está formado por un 100% de amilopectina, produciendo un almidón gomoso similar al de yuca.</p>	
--	--	---

**Fuente:** (Acosta, 2009, p. 116)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra,2021.

### 2.2.3.5 Aplicaciones industriales del almidón de maíz

Actualmente el almidón de maíz puede ser nativo o modificado. Es utilizado en diferentes industrias las cuales se detalla a continuación; (Grande, 2013, p. 105):

**Tabla 3-2.** Usos industriales del almidón.

INDUSTRIAS	APLICACIONES
Textil	Dureza al fuego y obtención de fibras de maíz para el diseño de ropa.
Purificación	Floculantes.
Plásticos	Elaboración de bioplásticos y rellenos biodegradables.
Farmacéutica	Fármacos y diluyentes.
Papel	Encuadernación, tamaño, recubrimiento.
Petrolera	Transformador de viscosidad.
Medicina	Extensor de plasma, preservación para trasplantes de órgano, productos sanitarios absorbentes.
Alimentos	Obtención de harinas, cereales, producción de snacks, barras energéticas entre otros.
Detergentes	Surfactantes, constructores, decolorantes, activadores de blanqueamiento.
Cosméticos	Polvos de talco y mascarillas de rostro.
Agroquímica	Pajotes, pesticidas, recubrimiento de semillas.
Adhesivos	Obtención de adhesivos.

**Fuente:** (Grande, 2013, p. 105)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra,2021.

### 2.2.3.6 Composición nutricional del maíz

**Tabla 4-2.** Composición nutricional del maíz.

COMPONENTES	PORCENTAJE POR 100 g DE MAÍZ
Energía	365,00 (kcal)
Grasa Total	4,74 (g)
Carbohidratos	74,30 (g)
Sodio	35,00 (mg)
Agua	10,37 (mg)
Proteínas	9,42 (g)
Vitaminas	214,00 (mg)
Calcio	7,00 (mg)
Hierro	2,71 (mg)
Potasio	287,00 (mg)
Fosforo	210,00 (mg)
Sodio	35,00 (mg)
Zinc	2,21 (mg)

**Fuente:** (Castañeda, 2011, pp. 75-83)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra,2021.

## 2.2.4 Quinoa

### 2.2.4.1 Definición

La quinoa (*Chenopodium quinoa*), es denominada por la FAO como uno de los alimentos del futuro a nivel mundial gracias a su gran capacidad de adaptación agronómica. Además, es un cereal fundamental de las comunidades preincaicas en vista a su alto valor alimenticio, medicinal, vitamínico y por disponer componentes minerales esenciales. Se dice que el nivel proteico de la quinoa varía entre 12 % y 20 % en algunas especies. Así mismo muestra gran adaptabilidad a las condiciones ambientales adversas, donde el maíz y la papa no se desarrollan.(Mujica, 2015, p. 15)



**Figura 3-2:** Quinoa Tierna

**Fuente:** (Apaza et al., 2013: p. 9)

#### *2.2.4.2 Origen*

La quinua es un cereal nutritivo domesticado, cuidado y conservado por los pueblos indígenas andinos de la Región Andina de América del Sur. Su principal punto de origen y de producción es el Altiplano alrededor del lago Titicaca del Perú y Bolivia sobre los 3900 msnm. (Soto et al. 2015, pp 15-16). Este cereal fue sembrado y usado por culturas prehispánicas, y sustituida a la llegada de los españoles por productos alimenticios modificados. Actualmente la quinua se encuentra en mercados y en la industria alimenticia procesados en diferentes subproductos. (Mujica, 2015, p. 15)

#### *2.2.4.3 Taxonomía*

Según la FAO, (2011) la quinua forma parte de la familia Chenopodium por lo cual presenta la siguiente clasificación taxonómica; (Chuquimarca, 2019, p. 5) :

**Tabla 5-2:** Descripción taxonómica de la quinua.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Subfamilia	Chenopodioideae
Género	Chenopodium
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i>


**Fuente:** (Chuquimarca, 2019, p. 5)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.



#### 2.2.4.4 Variedades de quinua

Actualmente hay múltiples cultivares de quinua, los mismo que son destinados para el consumo diario y transformados en diferentes productos. Entre las variedades de quinua más conocidas se tiene las siguientes; (Quinto et al., 2015, p. 45):

**Tabla 6-2:** Clasificación de las variedades de quinua.

NOMBRE	DEFINICION	FIGURA
<p><b>INIA 415 – PASANKALLA</b> <b>(ROJA)</b></p>	<p>Generalmente este tipo de quinua dispone de un alto valor nutricional, con alta productividad y excelente calidad de grano para el uso industrial. Además, posee un pericarpio color plomo y el epispermo de color rojo castaño. Es una especie rica en carbohidratos. (Fuentes y Mendoza, 2019: p. 19)</p>	

Continua

<p><b>INIA 420 - COLLANA (NEGRA)</b></p>	<p>Se caracteriza por estar compuesta de 13 accesiones de 12 localidades. Tiene gran adaptación agrícola en climas fríos y secos, con variación de temperatura de 4 – 15 °C. Su grano presenta un pericarpio plomo y el epispermo de tono negro. Así mismo posee un alto potencial nutritivo. (Fuentes y Mendoza, 2019: pp. 19-20)</p>	
<p><b>INIA 431 - ALTIPLANO (BLANCA)</b></p>	<p>Esta especie es conocida como un mejoramiento genético ejecutado por el Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos del INIA. Habitualmente esta variedad de quinua es muy vendida dentro del mercado nacional e internacional gracias a que es utilizada para la producción de harina, debido a su alto rendimiento de proteínas. (Apaza et al., 2013, pp. 22-25)</p>	

Fuente: (Apaza et al., 2013, p. 20)

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

#### 2.2.4.5 Aplicaciones industriales de la quinua

Dentro de los principales usos de la quinua en la industria se tiene; (Fuentes & Mendoza, 2019: pp. 26-28):

**Tabla 7-2.** Principales usos de la quinua.

<p><b>USOS INDUSTRIALES DE LA QUINUA</b></p>	
<p><b>ALIMENTACIÓN HUMANA</b></p>	<p>Debido al elevado potencial de proteínas que brinda la quinua, esta es consumida mediante varias combinaciones alimenticias tales como cereales, harina, hojuelas y polvo instantáneo. Todos estos productos son ricos en aminoácidos esenciales.</p>
<p><b>ALIMENTACIÓN ANIMAL</b></p>	<p>Actualmente los desechos de la cosecha de quinua son usados como forraje verde, así mismo se emplean para alimento de animales para cerdos, caballos y aves.</p>

<b>USO MEDICINAL</b>	Gracias a las buenas propiedades medicinales que aporta la planta de quinua, esta es usada como analgésico frente al dolor de muela, también como cicatrizante en caso de cualquier fractura. Adicionalmente es utilizada como repelente de insectos.
<b>OTROS USOS INDUSTRIALES</b>	El almidón de quinua es una interesante alternativa de sustitución frente a los almidones modificados químicamente, en vista de las múltiples propiedades nutricionales que tiene es utilizado en: pastas, postres alimenticios entre otros.

**Fuente:** (Fuentes y Mendoza, 2019: pp. 26-28)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

#### 2.2.4.6 Composición nutricional de la quinua

La quinua presenta un balance equilibrado de proteínas, grasa, aceite y almidón. El grano de quinua tiene un 23% más de aminoácidos que cualquier otro tipo de cereal. Así como se detalla a continuación; (Fuentes y Mendoza, 2019: p. 20) :

**Tabla 8-2.** Composición nutricional de la quinua.

COMPONENTES	PORCENTAJE POR 100 g DE QUINUA
Calorías	374,0 (Kcal)
Carbohidratos	60,0 (g)
Proteínas	14,0 (g)
Grasas	5,5 (g)
Fibra	5,0 (g)
Calcio	66,0 (mg)
Magnesio	204,0 (mg)
Zinc	7,5 (mg)
Fosforo	408,0 (mg)
Potasio	1040,0 (mg)
Hierro	11,0 (mg)
Manganeso	2,2 (mg)

**Fuente:** (Fuentes y Mendoza, 2019: p. 20)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.



### 2.2.5 Bioplástico

Los bioplásticos son conocidos como polímeros biodegradables debido a que son elaborados por recursos renovables de origen vegetal como animal o también por recursos fósiles. Siendo estos nuevos productos diferentes de los demás plásticos convencionales por su estructura química, logrando ser destruidos con facilidad por microorganismo, hongos y algas. Además, cumplen con la norma EN 13432 encargada de verificar la biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. (Gómez et al., 2007, p. 5)

#### 2.2.5.1 Clasificación de los biopolímeros

Generalmente los biopolímeros son conocidos según su respuesta al calor y por su composición química, por lo cual son clasificados de la siguiente manera:

**Tabla 9-2.** Clasificación de los biopolímeros

CLASIFICACIÓN DE LOS BIOPOLIMEROS		
<b>RESPUESTA AL CALOR</b>	<b>Termoplásticos</b>	Son aquellos que se caracterizan por deformarse al ser expuestos al calor, además poseen un elevado peso molecular.
	<b>Termoestables</b>	Son conocidos por no presentar ningún cambio físico frente a las variaciones de temperatura, en vista de que tienen una red tridimensional espacial formado por enlaces covalentes.
	<b>Elastómeros</b>	Este tipo de polímeros se identifican por tener un comportamiento elástico frente a los demás plásticos.
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>Combinada</b>	Son producidos con polímeros provenientes de orígenes distintos.
	<b>Biocompuestos</b>	Polímeros sintéticos reforzados mediante fibras naturales o laminados.

**Fuente:** (Gómez y Yory, 2018: pp. 70-71)

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

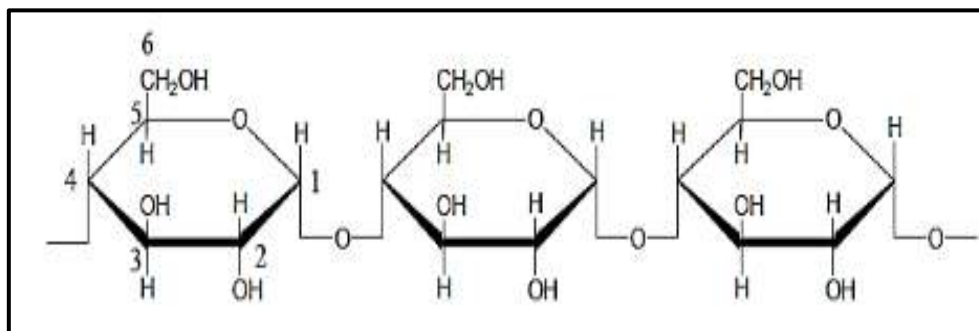
## 2.2.6 Almidón

Generalmente el almidón es un es conocido como un polisacárido abundante y renovable, siendo almacenado en las plantas, se extrae de las semillas de diferentes cereales tales como el maíz, quinua, trigo ente otros. También de varios tipos de tubérculos, donde su composición química y características físicas varían según su origen de procedencia. Presenta una estructura semicristalina formada por polímeros de amilosa y amilopectina. (Riera, 2020, p. 2)

### 2.2.6.1 Estructura del almidón

#### – Amilosa

La amilosa está formada por moléculas de D-glucosa, unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos, varias moléculas presentas pocas ramificaciones. Se caracteriza por ser un polímero lineal debido a que sus ramificaciones suelen ser cortas o largas. Además, los almidones que poseen abundante amilosa conservan su forma al ser moldeados, es por ello que este polisacárido llega a formar la cuarta parte del granulo de almidón. (Charro, 2015: p. 8)

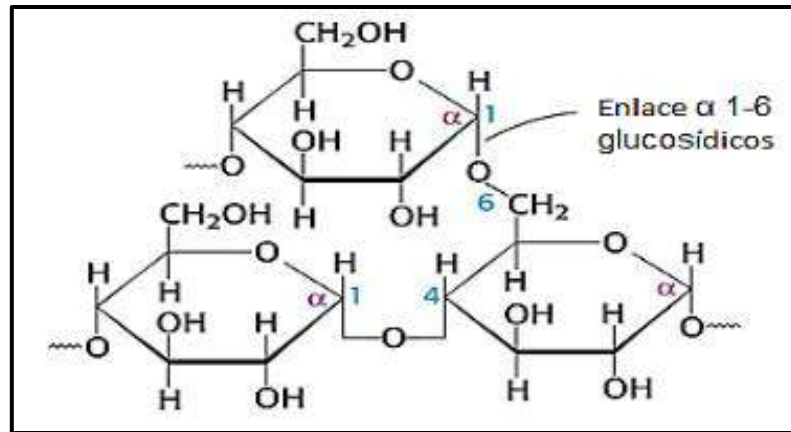


**Figura 4-2.** Estructura Molecular de la Amilosa

Fuente: (Charro, 2015, p. 8)

## – Amilopectina

Generalmente la amilopectina conforma el 75% de los almidones, está formada por cadenas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1,4) glucosídicos. Es menos soluble en el agua a comparación de la amilosa, sus moléculas son más grandes por lo que contienen alrededor de 10.000 y 20 millones de unidades de glucosa, por lo que, son cadenas muy ramificadas. (Charro, 2015, p. 9)



**Figura 5-2.** Estructura Molecular de la Amilopectina

Fuente: (Charro, 2015, p. 9)

### 2.2.7 Gelatinización

La gelatinización se produce debido a la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón al ser expuestos al calor y a elevados volúmenes de agua. Generalmente los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa aumentan de tamaño debido al calor, a causa de ello, pierden sus propiedades de su estructura semicristalina logrando formar un gel a una temperatura máxima. Tanto el almidón de maíz como el de quinua se gelatinizan en agua a temperaturas entre los 64 y 70 °C, provocando un engrosamiento de las moléculas del almidón gracias a la introducción de agua dentro de su estructura molecular. (García, 2015, p. 16)

### ***2.2.8 Plastificante***

En base a la normativa ASTM D883, se conoce como un plastificante a un elemento que se le añade al plástico con la finalidad de mejorar su proceso y flexibilidad. Al agregar cualquier tipo de plastificante se produce una disminución de la viscosidad, elasticidad y por consiguiente su temperatura de transformación. (Charro, 2015, p. 17)

#### ***2.2.8.1 Agua destilada***

Es aquella agua que se encuentra libre de impurezas, es usada como un plastificante con el fin de conseguir la desintegración estructural del almidón generada durante el proceso de mezcla hasta llegar a obtener almidones termoplásticos. Este tipo de plastificante es el más utilizado por ser altamente económico y abundante, además de que brinda mejores propiedades mecánicas al plástico. Gracias a las propiedades que proporciona el agua destilada es usada en varias industrias tales como cosmética, limpieza, química y alimenticia. (Charro, 2015, p. 18)

#### ***2.2.8.2 Ácido Acético ( $C_2H_4O_2$ )***

El ácido acético es caracterizado por ser un líquido incoloro, es soluble en el agua y en otros disolventes orgánicos. Es conocido también como ácido etanoico, por lo cual es encontrado con facilidad en el vinagre. Su fórmula química es  $C_2H_4O_2$ . Principalmente es usado como agente antimicrobiano y conservante natural. (Guamán, 2019, p. 21)

#### ***2.2.8.3 Glicerina***

El glicerol es un alcohol que posee tres grupos hidroxilos (OH), permitiéndole ser soluble en el agua, su fórmula molecular es  $C_3H_8O_3$ . Se caracteriza por ser un líquido incoloro y muy viscoso. Naturalmente es una sustancia no tóxica, por lo que es utilizado como lubricante en los equipos alimenticios. De la misma manera que el agua destilada la glicerina es conocido como plastificante, brindando suavidad e hidratación al almidón. Adicionalmente esta sustancia permite detener la

retrogradación de los productos termoplastificados, posibilitando la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón. (Charro, 2015, p. 18)

### ***2.2.9 Biodegradabilidad***

Según la norma ASTM D5488-944 establece a la biodegradabilidad como la acción que tiene un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos mediante la ayuda de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas. Así mismo un polímero es biodegradable siempre y cuando provenga de fuentes renovables, con la finalidad de que su degradación sea amigable con el medio ambiente. (Menoscal y Rodriguez, 2017: p. 9)

#### ***2.2.9.1 Tipos de biodegradación***

La biodegradabilidad es analizada mediante un proceso primario y otro secundario o también conocido como mineralización. El proceso primario se basa en la alteración estructural de las moléculas originales, permitiéndole así reducir sus propiedades físico químicas del elemento. Mientras que, en el proceso secundario o total, su materia química es metabolizada por medio de microorganismos como fuente de carbono, permitiéndole ser convertido en elementos inorgánicos. Estos procesos son verificados en base a la norma EN 13432, mediante condiciones aerobias o anaerobias. (Rodríguez, 2012, pp.70-71)

– **Descomposición aeróbica (con oxígeno):**

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Sales minerales} + \text{biomasa}$

– **Descomposición anaeróbica (sin oxígeno):**

$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{Sales minerales} + \text{biomasa}$

Actualmente los nuevos productos biodegradables cumplen con la norma europea EN 13432, donde son completamente desintegrados, carecen de toxicidad y además logran ser completamente incinerados. Así mismo la norma solicita un 90% de biodegradabilidad, en un tiempo máximo de seis meses. Por último, el material desintegrado debe quedar en fragmentos pequeños de (2x2) mm luego de las 12 semanas. (García, 2015, p. 21)

#### 2.2.9.2 *Métodos para medir la biodegradación*

En la actualidad hay normas internacionales tanto en Estados Unidos como en Europa, que controlan y verifican el tiempo de descomposición de los biopolímeros. (Mojo, 2009, pp. 3-4)

##### – **Estados Unidos**

ASTM D6400-99 “Especificación Standard para los plásticos compostables” es una norma donde se plantea los requisitos de biodegradabilidad y la norma ASTM D5338-98 “Método de ensayo standard para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje” norma que establece los procedimientos de biodegradación aeróbica. (Mojo, 2009, pp. 3-4)

##### – **Europa**

EN 13432 “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación” y la norma EN 14855 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas” que es la norma que describe el procedimiento del análisis. (Mojo, 2009, pp. 3-4)

## **2.3 Planteamiento de las Hipótesis**

### ***2.3.1 Hipótesis General***

- El almidón de maíz y quinua permite la obtención de películas biodegradables con similares características a las envolturas sintéticas para conservación de alimentos.

### ***2.3.2 Hipótesis Específicas***

- El almidón extraído del maíz y quinua cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 1456 para la elaboración del bioplástico.
- El bioplástico elaborado a partir del almidón del maíz y quinua tiene adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.
- El bioplástico obtenido se degrada en menor tiempo que los plásticos convencionales y son una alternativa ecológica en la industria de alimentos.

## **2.4 Identificación de Variables**

### ***2.4.1 Variables Independientes***

- Masa (almidón del maíz y quinua).
- Volumen (agua destilada, glicerina, etc.).
- Temperatura (del proceso).
- Tiempo (del proceso).

### ***2.4.2 Variables Dependientes***

- Solubilidad
- pH
- Humedad
- Flexibilidad
- Densidad
- Biodegradabilidad
- Resistencia

### **2.5 Operacionalización de Variables**



**Tabla 10-2:** Operacionalización de Variables.

PROCESO	CONCEPTO	VARIABLES	DIMENSIONES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN	MÉTODO
<p>Obtener bioplástico a partir del maíz (<i>Zea mays L</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) para utilizarlo como envolturas alimenticias biodegradables.</p>	<p>El almidón es la materia prima más utilizada para la obtención de bioplásticos, el empaquetado o envasado es muy importante, ya que además de cumplir con la finalidad de proteger al producto de cualquier daño y alargar su vida útil, deberá no contaminar al medio ambiente. (Rivera et al., 2019)</p>	<p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b></p>	<p><b>Masa:</b> Cantidad de materia prima utilizada para extraer el almidón.</p>	Balanza	g	Extracción por vía seca o húmeda
			<p><b>Volumen:</b> Cantidad líquida de aditivos utilizados para elaborar el bioplástico.</p>	Probeta	mL	Manual
			<p><b>Temperatura:</b> Magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.</p>	Termómetro	°C	Manual
			<p><b>Tiempo:</b> Magnitud física, que determina el tiempo necesario de un proceso.</p>	Cronometro	s	Manual
		<p><b>VARIABLES DEPENDIENTES</b></p>	<p><b>Solubilidad:</b> Proporción de materia seca del bioplástico luego de un tiempo en el agua.</p>	Estufa	%	Secado
			<p><b>pH:</b> Concentración de los reactivos presentes en las formulaciones de obtención del bioplástico.</p>	pH-metro	Adimensional	Manual

Continua

			<b>Humedad:</b> Cantidad de agua presente en la superficie o el interior del biopolímero.	Desecador	%	Análisis químico-proximal y fisicoquímico
			<b>Flexibilidad:</b> Capacidad del biopolímero plástico de doblarse fácilmente sin que se rompa.	Flexómetro	cm	Norma INEN 2637
			<b>Densidad:</b> Es la cantidad de masa (bioplástico) en un determinado volumen de una sustancia (agua).	Probeta	g/ml	Análisis químico-proximal y fisicoquímico
			<b>Biodegradabilidad:</b> Es la descomposición de sustratos complejos a moléculas sencillas, agua, dióxido de carbono y moléculas simples.	Condiciones ambientales	%	Norma EN 13432
			<b>Resistencia:</b> Endurecimiento y resistencia al frío del polímero.	Ensayos de tracción	Pa	Norma INEN 2635

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

## 2.6 Matriz de Consistencia

**Tabla 11-2:** Matriz de Consistencia.

<b>TEMA: “OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (<i>Zea mays L</i>) Y QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i>) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES”.</b>		
<b>ASPECTOS GENERALES</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	Debido a la alta contaminación ambiental por los plásticos sintéticos, se ve en la necesidad de elaborar nuevos productos a partir de fuentes renovables, proyectado principalmente para el empaque de alimentos, siendo el bioplástico una opción amigable con el ambiente.
	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Obtener bioplástico a partir del maíz ( <i>Zea mays L</i> ) y quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) para utilizarlo como envolturas alimenticias biodegradables.
	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	El almidón de maíz y quinua permite la obtención de películas biodegradables con similares características a las envolturas sintéticas para conservación de alimentos.
<b>ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>	<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las condiciones que se deben considerar para la caracterización del almidón?</li> <li>• ¿Qué ensayos se realizarán al bioplástico obtenido, para que este cumpla con similares características a los plásticos sintéticos?</li> <li>• ¿Mediante qué método/s se comprobará la biodegradabilidad del bioplástico obtenido?</li> </ul>
	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar el almidón extraído del maíz y quinua considerando la Norma NTE INEN 1456 para obtener bioplástico.</li> <li>• Determinar la calidad del bioplástico del maíz y quinua mediante el análisis de sus propiedades físico-químicas y mecánicas.</li> <li>• Valorar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido en base a la norma EN 13432 con el fin de analizar el tiempo de descomposición y su utilidad como envolturas alimenticias.</li> </ul>

Continua

	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El almidón extraído del maíz y quinua cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 1456 para la elaboración del bioplástico.</li> <li>• El bioplástico elaborado a partir del almidón del maíz y quinua tiene adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.</li> <li>• El bioplástico obtenido se degrada en menor tiempo que los plásticos convencionales y son una alternativa ecológica en la industria de alimentos.</li> </ul>
	<p><b>VARIABLES</b></p>	<p>•<b>Variables Independientes:</b> Masa, Volumen, Temperatura y Tiempo.</p> <p>•<b>Variables Dependientes:</b> Solubilidad, pH, Humedad, Flexibilidad, Densidad, Biodegradabilidad y Resistencia.</p>
	<p><b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes Bibliográficas</li> <li>• Métodos Gravimétricos</li> <li>• Métodos de extracción por vía seca y vía húmeda.</li> <li>• Análisis químico-proximal y fisicoquímico</li> <li>• Norma EN 13432</li> <li>• Norma NTE INEN 1456</li> <li>• Norma INEN 2043</li> <li>• Norma INEN 2635</li> </ul>

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

## 2.7 Tipo y Diseño de la Investigación

### 2.7.1 Tipo de Investigación

En el presente estudio se aplicaron métodos cuantitativos experimentales, en vista de que la investigación se ejecutó mediante la manipulación de variables en condiciones controladas, y con la aplicación de un análisis estadístico se corroboró sus resultados.

Por otro lado, también la investigación es de tipo exploratoria, debido a que es enfocado a obtener bioplástico a partir de fuentes renovables como el almidón del maíz y quinua, con la finalidad de

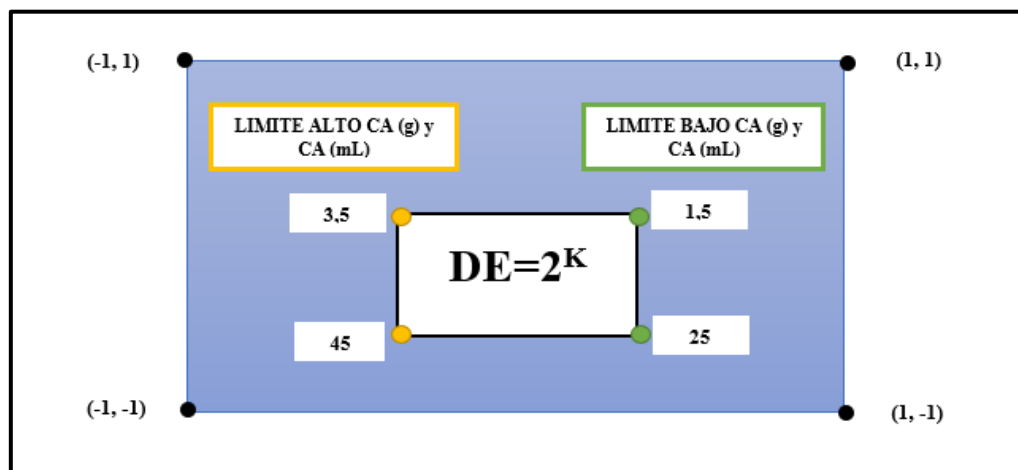
sustituir a las envolturas alimenticias sintéticas, además se destaca que dentro del mercado el bioplástico es considerado como alternativa ecológica tanto para el medio ambiente como para el desarrollo de la industria del plástico. Por último, este tipo de investigación permite conocer diferentes métodos y formulaciones de elaboración de películas biodegradables, buscando así que sus resultados sean óptimos y puedan ser usados para posteriores investigaciones.

### 2.7.2 Diseño de Investigación

Conocidas las variables manipulables, se procede a diseñar un modelo experimental que ayude a mejorar las condiciones de calidad de los bioplásticos obtenidos, de tal forma que se empleó un método factorial  $2^k$  donde: 2 = (Concentración almidón y plastificante); k = Número de repeticiones; considerando así un diseño experimental  $2^k = (2*2) * 4 = 16$  pruebas con 4 tratamientos.

En toda la experimentación se trabajó con 16 pruebas, escogiéndose al final un solo bioplástico por cada tratamiento, es decir aquella película con las mejores propiedades físicas, mecánicas, biodegradables y microbiológicas. Con respecto a la generación de las formulaciones se usó el programa Statgraphics, dando un límite alto y otro bajo tanto para la concentración de almidón como de agua.

En la **Figura 6-2**. Se puede observar el esquema del diseño factorial  $2^k$  con los valores designados para cada límite.



**Figura 6-2:** Representación del Diseño Factorial  $2^k$

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**DONDE:**

**CA:** Concentración de almidón y agua

**DE:** Diseño experimental factorial  $2^k$

Los niveles utilizados fueron dos: límite alto y límite bajo y se describen a continuación:

**Tabla 12-2.** Valores designados para cada una de las variables.

VARIABLE	LIMITE ALTO	LIMITE BAJO
Almidón (g)	3,5	1,5
Agua (mL)	45	25

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

## 2.8 Unidad de análisis

Para esta investigación se tiene 2 unidades de análisis, mediante la extracción de almidón del maíz (*Zea mays L*) y otra de la quinua (*Chenopodium quinoa*), siendo estos productos la materia prima principal para la elaboración del bioplástico, con el objetivo de obtener nuevos productos que sean amigables con el ambiente. Por lo cual, en base al diseño factorial  $2^k$  se realizaron cuatro tratamientos con diferentes composiciones variando el contenido de almidón y agua, obteniendo por cada tratamiento cuatro bioplásticos diferentes.

Así mismo a través de una selección minuciosa se optó por escoger una lámina por tratamiento tomando en cuenta que esta tenga las mejores características físicas, puesto que fueron analizadas mediante pruebas mecánicas bajo la norma NTE INEN 2635 y por consiguiente se efectuó pruebas de biodegradabilidad y microbiológicas.

## **2.9 Población de estudio**

Debido a las diferentes variedades de maíz y quinua que existen, las especies seleccionadas para las extracciones de los almidones corresponden al maíz amiláceo (*Zea mays amilácea*) y a la quinua inia 431 – altiplano (*Chenopodium quinoa*).

La selección de estas especies se llevó a cabo mediante un muestreo selectivo realizado en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, donde se consideró 8 kg tanto de maíz como de quinua para su respectiva caracterización; escogiendo así al maíz tierno y la quinua seca blanca para la extracción de los almidones.

## **2.10 Tamaño de Muestra**

El tamaño de muestra inicial corresponde a 4 kg de maíz y 4 kg de quinua, seguidamente se procedió a la extracción del almidón de maíz por vía húmeda y de la quinua por vía seca, lo que conllevó posteriormente al método de secado, obteniendo así 1,5 kg de almidón tanto de maíz como de quinua para los diferentes análisis de caracterización y elaboración del bioplástico.

Además, mediante el análisis estadístico de varianza ANOVA realizado se verificó si las hipótesis son nulas o alternativas, con la finalidad de comprobar los resultados obtenidos.

## **2.11 Selección de Muestra**

La selección de la muestra se efectuó en base a muestreo selectivo, realizado a las especies de estudio de maíz y quinua que existen en los mercados de la ciudad Riobamba, debido a la alta producción agrícola que tienen de los productos andinos.

Las principales características que se consideraron para la selección de la materia prima fueron: su color, estado de madurez de las semillas, apariencia y facilidad de obtención de éstas dentro de la ciudad.

## **2.12 Técnicas de Recolección de Datos**

### ***2.12.1 Técnicas de Extracción del Almidón de Maíz y Quinoa***

La extracción del almidón se llevó a cabo mediante 2 métodos por vía humedad y por vía seca, de tal forma que en base al diseño factorial  $2^k$  se obtiene 24 pruebas con 6 tratamientos, con la finalidad de seleccionar el tratamiento más rentable tanto para el maíz como la quinoa. A continuación, se detalla el procedimiento aplicado para cada materia prima:

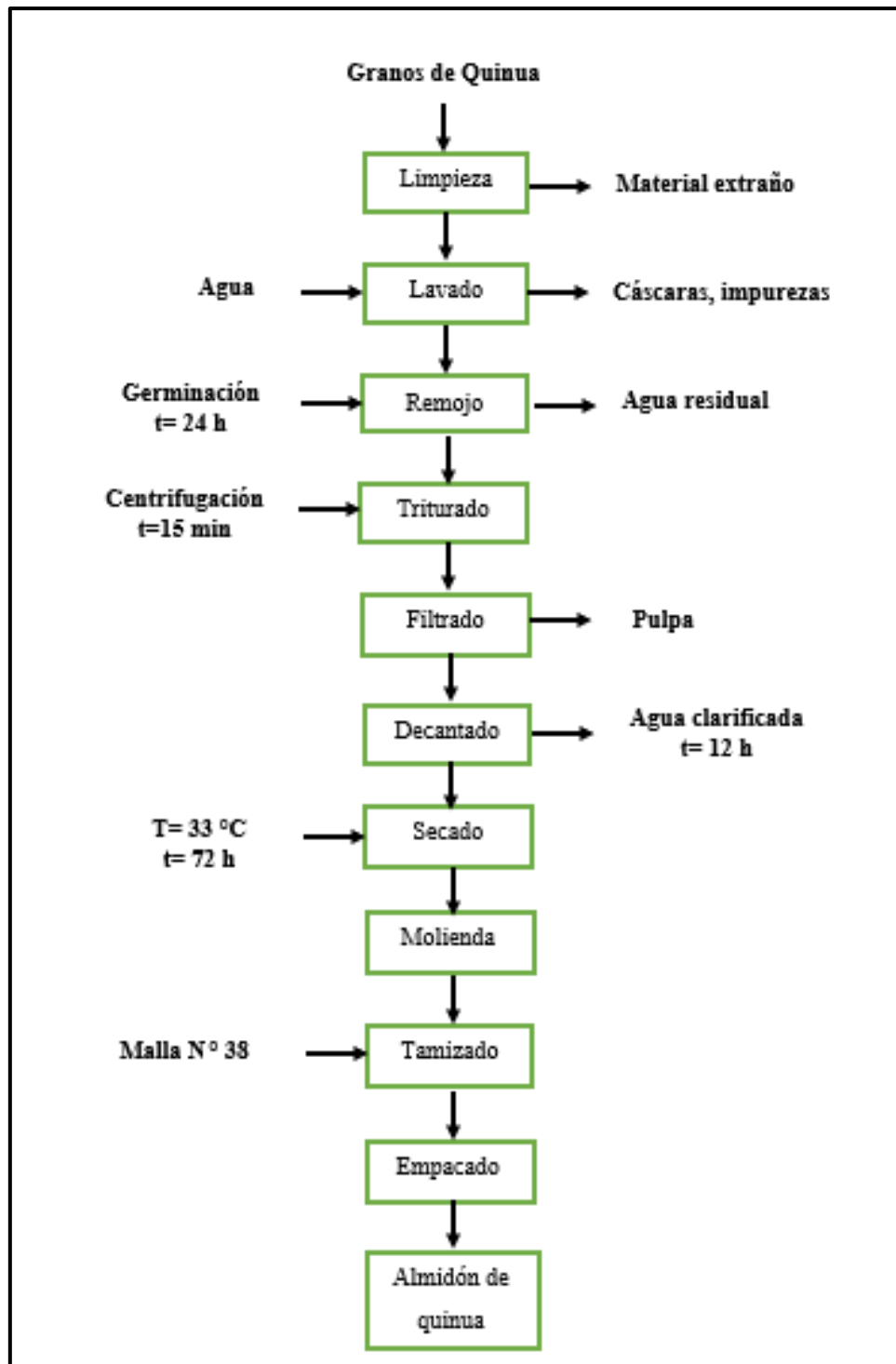


**Tabla 13-2.** Técnicas de extracción del almidón de quinua y maíz.

N°	MÉTODO	MATERIALES Y EQUIPOS	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	MÉTODO DE ENSAYO
1	Vía Seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Licuadora</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Probeta</li> <li>- Espátula</li> <li>- Papel aluminio</li> <li>- Cronometro</li> <li>- Colador de plástico</li> <li>- Mortero de porcelana y pistilo</li> <li>- Torre de tamices</li> <li>- Fundas ziploc</li> <li>- Recipientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua purificada</li> <li>- Quinua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Recepción y pesado:</b> Se utilizaron 4kg de quinua con la finalidad de obtener 1,5kg de almidón extraído.</li> <li>- <b>Limpieza:</b> Tiene como propósito separar la materia prima de ciertas impurezas.</li> <li>- <b>Lavado:</b> Enjuagar completamente las semillas de quinua con el fin de que estén totalmente limpias para evitar daños adversos.</li> <li>- <b>Remojo:</b> En esta etapa se realiza la germinación de las semillas de quinua por un tiempo aproximado de 24 horas en agua purificada, tomando en cuenta una relación 1:3 (semilla: agua) es decir considerando que el agua cubra totalmente a la muestra de quinua, facilitando un mejor ablandamiento de la semilla.</li> <li>- <b>Triturado y Filtrado:</b> Una vez terminada la etapa de germinación proceder a triturar las semillas de quinua con ayuda de una licuadora, por cada 200 g de muestra se utilizará 500 mL de agua purificada. Posteriormente proceder a filtrar la mezcla a través de un medio mecánico poroso con el fin de separar los desechos generados de la materia prima y conseguir una suspensión.</li> <li>- <b>Decantado:</b> La muestra filtrada ubicar en un recipiente con tapa hermética y dejar reposar por 12 horas, para luego eliminar el agua sobrenadante.</li> <li>- <b>Secado:</b> Recoger el sedimento (almidón) en bandejas de aluminio y dejar secar al ambiente a 33°C por un tiempo de 72 horas, hasta que la muestra este completamente seca.</li> <li>- <b>Molienda:</b> Después de obtener la muestra completamente seca, proceder a moler ya sea en un molino o en un mortero de porcelana, hasta conseguir que los tamaños de los gránulos de almidón sean mínimos para su posterior tamizado.</li> <li>- <b>Tamizado:</b> Proceder a tamizar la muestra molida hasta que cumpla con las características de granulometría, de tal forma que debe pasar por la luz de malla N°38, con el fin de obtener un almidón completamente fino.</li> </ul>	<p>(Arzapalo &amp; Huaman, 2014: pp. 79-82)</p>

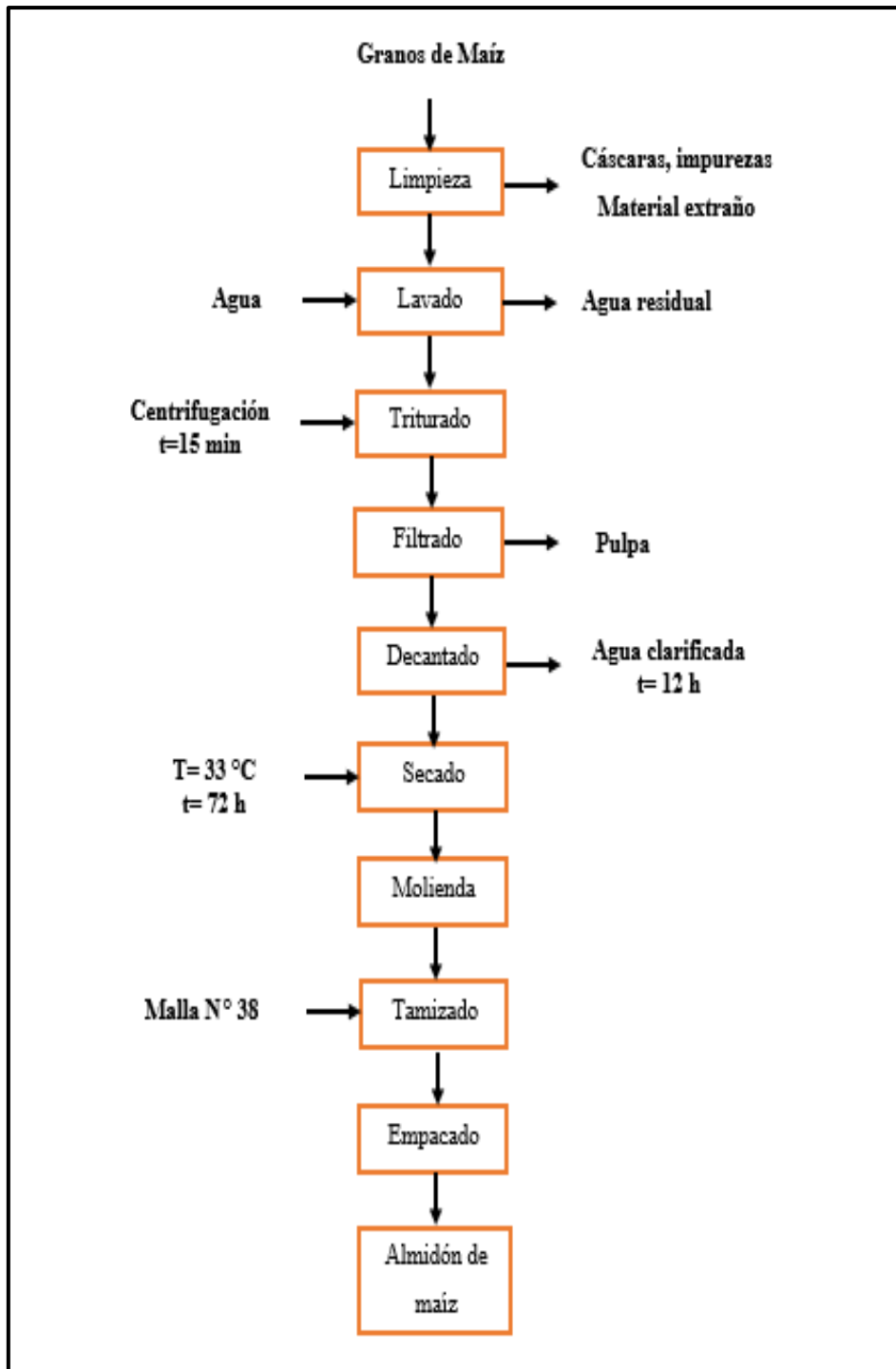
				<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Envasado:</b> Finalmente envasar el almidón extraído en bolsas herméticas asegurándose de eliminar todo el aire para así no modificar las características del almidón.</li> </ul>	
2	<b>Vía Húmeda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Molino manual</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Probeta</li> <li>- Espátula</li> <li>- Papel aluminio</li> <li>- Cronometro</li> <li>- Colador de plástico</li> <li>- Mortero de porcelana y pistilo</li> <li>- Torre de tamices</li> <li>- Fundas ziploc</li> <li>- Recipientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua purificada</li> <li>- Maíz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Recepción y pesado:</b> Se utilizaron 4kg de maíz con la finalidad de obtener 1,5kg de almidón extraído.</li> <li>- <b>Limpieza:</b> Tiene como propósito separar la materia prima de ciertas impurezas.</li> <li>- <b>Lavado:</b> Lavar completamente las semillas de maíz, con el fin de que estén totalmente limpias para evitar daños adversos.</li> <li>- <b>Triturado y Filtrado:</b> Una vez terminada la etapa de lavado proceder a triturar las semillas de maíz con ayuda de un molino manual. Enseguida proceder a filtrar la mezcla a través de un medio filtrante con el fin de separar los desechos generados de la materia prima y conseguir una suspensión.</li> <li>- <b>Decantado:</b> La muestra filtrada ubicar en un recipiente con tapa hermética y dejar reposar por 12 horas, para luego eliminar el agua sobrenadante.</li> <li>- <b>Secado:</b> Recoger el sedimento (almidón) en bandejas de aluminio y dejar secar al ambiente a 33°C por un tiempo de 72 horas, hasta que la muestra este completamente seca.</li> <li>- <b>Molienda:</b> Después de obtener la muestra completamente seca, proceder a moler en un mortero de porcelana con pistilo, hasta conseguir que los tamaños de los gránulos de almidón sean mínimos para su posterior tamizado.</li> <li>- <b>Tamizado:</b> Proceder a tamizar la muestra molida hasta que cumpla con las características de granulometría, de tal forma que debe pasar por la luz de malla N°38, con el fin de obtener un almidón completamente fino.</li> <li>- <b>Envasado:</b> Finalmente envasar el almidón extraído en bolsas herméticas asegurándose de eliminar todo el aire para así no modificar las características del almidón.</li> </ul>	(Guamán, 2019, pp. 30-31)

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 7-2:** Diagrama de flujo para la obtención del almidón de quinua por vía seca.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 8-2:** Diagrama de flujo para la obtención del almidón de maíz por vía húmeda.  
Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 2.12.2 Ensayos de Caracterización para los almidones de quinua y maíz.

**Tabla 14-2.** Análisis proximal realizado para la caracterización de los almidones.

N°	PARÁMETROS	MÉTODO	INSTITUCIÓN
1	Amilosa (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS INIAP
2	Amilopectina (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	
3	Humedad (%)	Método AOAC 925.09	
4	Proteína (%)	Método AOAC 954.01	
5	Fibra (%)	Método AOAC 962.09	
6	Cenizas (%)	Método AOAC 923.03	
7	Carbohidratos Totales (%)	U. FLORIDA 1970	
8	pH	Pontillon. I.1997	
9	Grasa (%)	U. FLORIDA 1970	
10	Azúcares Totales	Dubois 1956	
11	Densidad Compacta	Técnica usada (Smith, 1967)	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ESPOCH
12	Densidad suelta	Técnica usada (Smith, 1967)	
13	Temperatura de gelatinización (°C)	Técnica usada (Grace, 1977)	
14	Solubilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	
15	Sensibilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 2.12.3 Elaboración del bioplástico a partir de las formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2<sup>k</sup>.

#### 2.12.3.1 Formulaciones

Una vez planteado el diseño factorial  $2^k$  se tiene a continuación las siguientes formulaciones, tanto para la obtención del bioplástico de maíz como de quinua.

**Tabla 15-2.** Formulaciones planteadas para la obtención del bioplástico de maíz en base al diseño factorial  $2^k$ .

FORMULACIONES PLANTEADAS PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ				
FORMULACIONES	VARIABLES		CONSTANTES	
	Almidón (g)	Agua (mL)	Glicerina (mL)	Vinagre (mL)
1	1,5	25	2	4
2	2	30	2	4
3	2,5	35	2	4
4	3	40	2	4

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 16-2.** Formulaciones planteadas para la obtención del bioplástico de quinua en base al diseño factorial  $2^k$ .

FORMULACIONES PLANTEADAS PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA				
FORMULACIONES	VARIABLES		CONSTANTES	
	Almidón (g)	Agua (mL)	Glicerina (mL)	Vinagre (mL)
1	2	25	2	3
2	2,5	30	2	3
3	3	35	2	3
4	3,5	45	2	3

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

En base al diseño factorial  $2^k$  se originaron 4 formulaciones diferentes tanto para la obtención del bioplástico a partir de maíz y de quinua, tomando en cuenta que la cantidad de glicerina y ácido acético ayudan a obtener una buena elasticidad y resistencia de la biopelícula. En cambio, las cantidades de almidón y agua destilada brindan una mejor homogenización de la mezcla con el fin de tener un material firme.

En la **tabla 17-2**, se indica el esquema del diseño experimental para la obtención de los bioplásticos, en el cual se consideran cuatro replicas para cada formulación dando un total de 16 pruebas preliminares para cada uno de los plásticos.

**Tabla 17-2.** Esquema del diseño experimental para la obtención del bioplástico de maíz y quinua.

N°	FORMULACIONES	REPLICAS
1	F1M:F1Q	R1
2		R2
3		R3
4		R4
5	F2M:F2Q	R1
6		R2
7		R3
8		R4
9	F3M:F3Q	R1
10		R2
11		R3
12		R4
13	F4M:F4Q	R1
14		R2
15		R3
16		R4

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

**\*F1, F2, F3 y F4:** Formulaciones, **M:** Maíz, **Q:** Quinua

### 2.12.3.2 Obtención del Bioplástico de Maíz y Quinua.

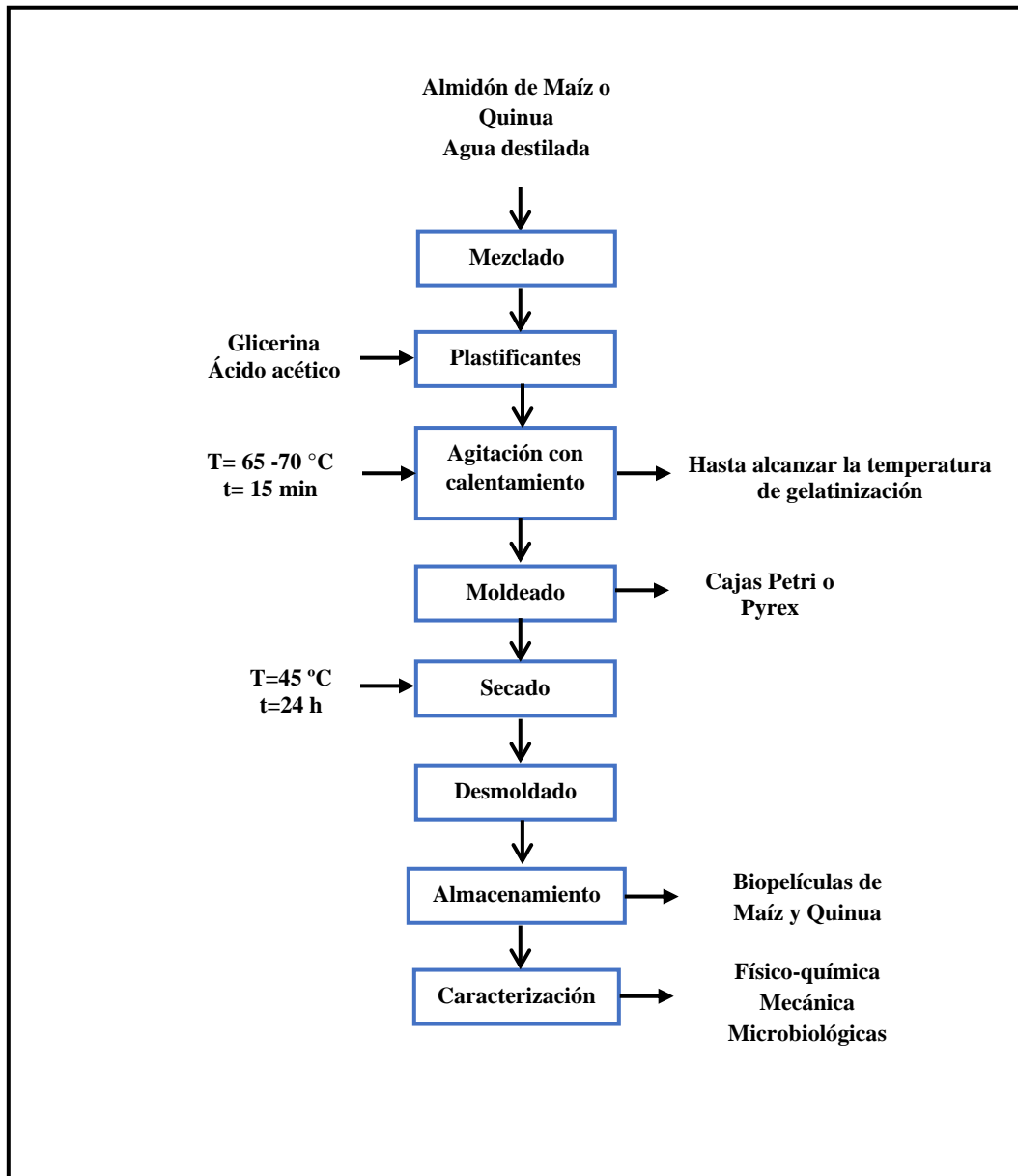
Para la elaboración del bioplástico se empleó el procedimiento que se describe a continuación:

**Tabla 18-2.** Proceso de Obtención de los Bioplásticos.

MATERIALES Y EQUIPOS	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	MÉTODO DE ENSAYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estufa</li> <li>- Reverbero</li> <li>- Vasos de precipitación de 250 ml</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Probetas de 10 ml y 100 ml</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Papel aluminio</li> <li>- Espátula</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Cajas Petri</li> <li>- Pyrex</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua</li> <li>- Glicerol</li> <li>- Ácido Acético</li> <li>- Almidón de maíz</li> <li>- Almidón de quinua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar el almidón en base a las formulaciones planteadas anteriormente, adicionar agua destilada y colocar la mezcla a baño maría sobre un reverbero a una temperatura de 85 °C.</li> <li>- Adicionar el plastificante (glicerina) y vinagre.</li> <li>- Agitar la solución de forma constante y moderada hasta alcanzar la temperatura de gelatinización.</li> <li>- Verter la mezcla en los pyrex o cajas Petri.</li> <li>- Colocar la muestra en la estufa a una temperatura de 45 °C por 24 horas.</li> <li>- Una vez seca la muestra, retirar los bioplásticos de las cajas Petri o pyrex (moldes) y colocarlos en papel aluminio con el fin de almacenarlos.</li> </ul>	<p>(Charro, 2015, pp. 30-31)</p>

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.





**Figura 9-2:** Diagrama de Flujo para la Obtención de los Bioplásticos.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

#### 2.12.4 Ensayos de Caracterización de los Bioplásticos.

#### 2.12.4.1 Espesor de los bioplásticos

Este ensayo se efectuó mediante el método descrito en la revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay, en el que se procede a medir con pie de rey cada una de las películas obtenidas, debido a lo cual cada plástico debe ser recortado con medidas aproximadas de 2,5 cm x 2,5 cm, con la finalidad de registrar datos reales. (Charro, 2015, p. 31)

#### 2.12.4.2 Humedad

La humedad se determinó de forma gravimétrica, es decir secando los bioplásticos de maíz y quinua a una temperatura de 105 °C en una estufa por 24 horas. Este ensayo se realizó mediante el método descrito en la revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay.

Para calcular la humedad se aplica la siguiente formula; (Charro, 2015, p. 32):

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la biopelícula} - \text{Peso final de la biopelícula}}{\text{Peso inicial de la biopelícula}} \times 100$$

**Ecuación 1-2.** Porcentaje de humedad.

#### 2.12.4.3 Solubilidad en el agua

En este ensayo los bioplásticos secos se colocaron en 80 mL de agua desionizada con una agitación constante de 100 rpm con una duración de una hora, enseguida fueron filtrados y ubicados en una estufa a una temperatura de 40°C hasta que las muestras estén completamente secas, luego a 105 °C donde se consiguió un peso constante. (Charro, 2015, p. 32)

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial de película seca} - \text{Peso final de película seca}}{\text{Peso inicial de película seca}} \times 100$$

**Ecuación 2-2.** Porcentaje de solubilidad.

#### 2.12.4.4 Transmisión de vapor de agua

Naturalmente la permeabilidad de vapor de agua se conoce como la velocidad de transmisión de vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión entre dos superficies específicas bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad. (Escobar et al., 2011, pp. 34-35)

La transmisión de vapor de agua se determinó en base al método desecante de la técnica gravimétrica de la norma ASTM D1653-93: Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico. La cual, consistió en utilizar sílice gel previamente activada a una temperatura de 200 °C durante 24 horas. Los tubos de ensayos usados presentaron medidas aproximadas 10 cm de altura y 16 mm de diámetro, los cuales fueron llenados dejando un espacio libre para mezclar la sílice gel después de cada pesado. Enseguida se cortaron los bioplásticos en medidas aproximadas de 2,5 x 2,5 cm para cada una de las muestras, posteriormente las muestras cortadas fueron colocadas en la boca del tubo de ensayo y selladas de manera hermética con cinta de embalaje para evitar daños adversos. Las muestras fueron guardadas en una gradilla. Por último, se colocaron las muestras en un desecador a temperatura ambiente durante 5 días, el ensayo terminó cuando el bioplástico obtuvo un peso constante. (Charro, 2015, pp. 32-33)

#### – Ecuación para la Tasa de Transmisión de Vapor de Agua

$$WVTR = \frac{Q}{t \cdot A}$$

**Ecuación 3-2.** Tasa de transmisión de vapor.

#### **Donde:**

**WVTR:** Tasa de transmisión de vapor de agua ( $g \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ ).

**Q:** peso ganado del desecante (g).

**t:** tiempo de prueba (h).

**A:** area total del bioplástico ( $m^2$ ).

– **Ecuación para la Permeabilidad de Vapor de Agua**

$$\Delta p = s' (HR_1 - HR_2)$$

**Ecuación 4-2.** Presión parcial de vapor de agua a la temperatura de ensayo.

$$WVP = \frac{WVTR * e}{\Delta p}$$

**Ecuación 5-2.** Permeabilidad de vapor de agua.

**Donde:**

**WVP:** permeabilidad al vapor de agua expresada en (g\*h<sup>-1</sup> \*m<sup>-1</sup> \* MPa<sup>-1</sup>).

**WVTR:** tasa de transmisión de vapor de agua (g/h\*m<sup>2</sup>).

**s':** presión de vapor de agua a la temperatura de ensayo (MPa) T=21°C.

**HR<sub>2</sub>:** Humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada (HR<sub>2</sub>=75%).

**HR<sub>1</sub>:** Humedad relativa en el interior de la celda (HR<sub>1</sub>=0%).

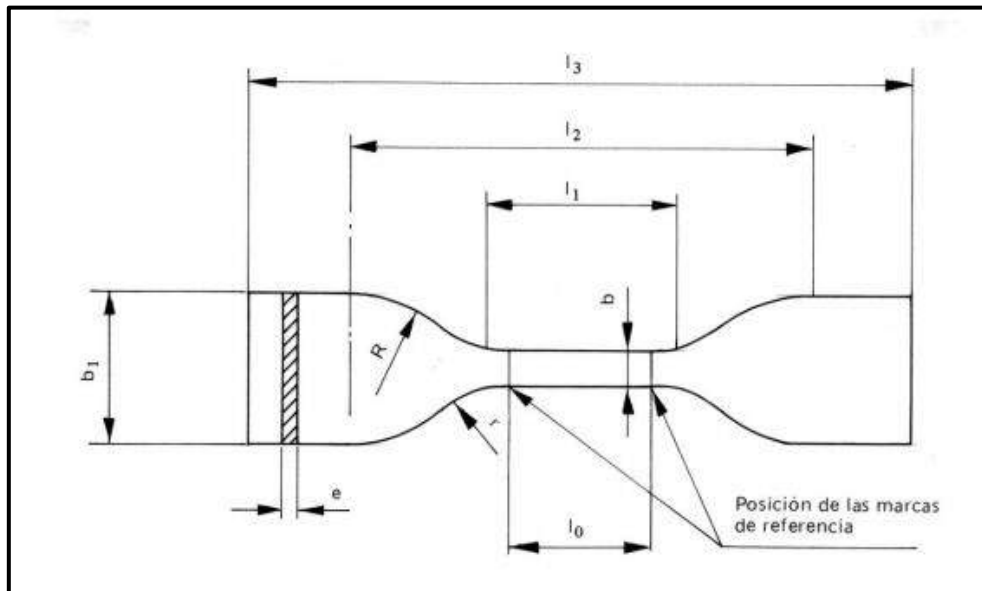
**e:** espesor (m).

*2.12.4.5 Ensayos de Tracción*

Esta prueba fue realizada en el Laboratorio LenMay, en base a la norma NTE INEN 2635:2012 Método de Ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. Comúnmente el método de ensayo se rige en deformar la probeta a lo largo de su eje, con una velocidad constante

empleando una fuerza definida con el propósito de romper la probeta y poder verificar su resistencia. (INEN 2043, 2013, p. 3)

A continuación, en la **Figura 10-2** se observa el modelo de la probeta utilizada para este tipo de ensayo.



**Figura 10-2:** Probeta Tipo A

Fuente: (INEN 2043, 2013, p. 4)

\*  $l_3$ : Longitud total mínima  $115$ ,  $b_1$ : Anchura en los extremos  $25 \pm 1$ ,  $l_1$ : Longitud de la parte calibrada  $33 \pm 2$ ,  $b$ : Anchura de la parte calibrada  $6 \pm 0,4$ ,  $r$ : Radio menor  $14 \pm 1$ ,  $R$ : Radio mayor  $25 \pm 2$ ,  $l_0$ : Longitud de referencia  $25 \pm 0,25$ ,  $l_2$ : Distancia inicial entre mordazas  $80 \pm 5$ ,  $e$ : Espesor.

#### 2.12.4.6 Biodegradabilidad

Este ensayo se analizó en base al método gravimétrico, el cual consistió en cortar las biopelículas en dimensiones de  $2,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ . Las muestras recortadas se evaluaron en condiciones aeróbicas, anaeróbicas y agua, la descomposición en medio anaerobio y aerobio fue valorada cada 5 días durante un mes. En cambio, la biodegradabilidad en agua se realizó cada 5 días por un tiempo de 4 semanas debido a la alta deformación de las biopelículas.

La tierra usada para este ensayo presentó las siguientes características: pH de 6,4 y un color oscuro, esto debido a que posee un elevado contenido de materia orgánica rico en nutrientes y minerales, favoreciendo así una descomposición más rápida y efectiva. El porcentaje de pérdida de peso se calculó mediante la siguiente ecuación; (Charro, 2015, pp. 33-34):

$$\% \text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial seco de la película} - \text{Peso final seco de la película}}{\text{Peso inicial seco de la película}} \times 100$$

**Ecuación 6-2.** Porcentaje de pérdida de masa.

#### 2.12.4.7 Análisis Microbiológico

Los análisis microbiológicos para el bioplástico de maíz y quinua fueron realizados en el Laboratorio “SAQMIC” ubicado en la ciudad de Riobamba. Estos ensayos se ejecutaron en base a la Guía Técnica para la Producción de almidón de Yuca (FAO), en la **Tabla 19-2** se puede observar el método usado para cada uno de los parámetros.

**Tabla 19-2.** Análisis microbiológico realizado al bioplástico de maíz y quinua.

Nº	PARÁMETROS	MÉTODO	INSTITUCIÓN
1	Coliformes Totales	(ICONTEC, 1998)	LABORATORIO SAQMIC
2	Coliformes Fecales (Escherichia Coli)	(ICONTEC, 1997)	
3	Mohos y Levaduras	(ICONTEC, 1997)	

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

## CAPITULO III

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

#### 3.1 Datos obtenidos de los ensayos físicos-químicos realizados a la materia prima.

##### 3.1.1. Caracterización física de las semillas de maíz y quinua.

La caracterización física de las semillas de maíz y quinua se efectuó con la finalidad de obtener almidón de calidad. Se pesó 5 gramos de muestra tanto de maíz como de quinua y se seleccionó al azar 5 semillas de cada una, con el fin de proceder a medir su longitud y diámetro. A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada muestra:

**Tabla 1-3.** Resultados obtenidos de la caracterización física de las semillas de maíz y quinua.

No. MUESTRA	SEMILLAS DE MAÍZ		SEMILLAS DE QUINUA	
	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)
1	6,30	5,10	2,16	2,20
2	7,20	6,20	2,50	2,10
3	6,80	4,15	2,40	2,18
4	7,50	5,30	2,35	2,25
5	7,35	6,18	2,25	2,17
<b>Promedio</b>	<b>7,03</b>	<b>5,39</b>	<b>2,33</b>	<b>2,18</b>

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

##### 3.1.2. Resultados obtenidos del rendimiento de los almidones de maíz y quinua.

La extracción de almidón se ejecutó en base al diseño factorial  $2^k$ , obteniendo así 6 tratamientos con 24 pruebas tanto para el maíz como para la quinua. En la **Tabla 3-3** y **Tabla 4-3**, se indican los resultados conseguidos del porcentaje de rendimiento de los almidones, en las cuales, se puede

observar que los tratamientos N°5 del maíz y N°3 de la quinua, fueron los más rentables para la extracción, con valores de 14,81% y 12,01% respectivamente.

Estudios realizados por Riera (2020, p. 7), utilizando el mismo método de extracción consigue un rendimiento de almidón de maíz de 5,72 %. Por otro lado, Quinto et al.,( 2015, p. 48) reportó en su investigación que el rendimiento de almidón de quinua blanca oscilan entre (18,95-30,62) %, debido al uso de modificadores químicos.

Los métodos utilizados para la extracción de los almidones fueron por vía húmeda para el maíz y por vía seca para la quinua. En el análisis estadístico de varianza ANOVA aplicado al diseño factorial 2<sup>k</sup>, se trabajó con 2 factores manipulables para la extracción como son: el tiempo de trituración de la materia prima y las revoluciones por minuto aplicadas en cada tratamiento; variables que influyeron en el porcentaje de rendimiento de almidón de acuerdo a los diferentes tratamientos empleados. En la siguiente **Tabla 2-3**, se puede observar los datos de las variables manipulables usadas en la extracción de almidones.

**Tabla 2-3.** Variables utilizadas en la extracción de almidones de maíz y quinua.

RPM (Revoluciones por minuto)		TIEMPO (s)			
ALTA	BAJA	15	30	45	60

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

El porcentaje de rendimiento de los almidones de maíz y quinua se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{\text{Peso del almidón obtenido}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

**Ecuación 1-3.** Porcentaje del rendimiento del almidón.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de los almidones de maíz y quinua.



**Tabla 3-3.** Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de almidón de maíz.

No. MUESTRA	TRATAMIENTO	VARIABLES RPM / TIEMPO	ALMIDÓN DE MAÍZ (g)						VOLUMEN AGUA (mL)	TIEMPO DE RESPOSO (h)	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	TIEMPO DE SECADO (h)
			MAÍZ CANTIDAD (g)	R	CANTIDAD DE ALMIDÓN (g)	P (g)	RENDIMIENTO (%)	PROMEDIO (g)				
1	TM1	RPM A - 30	200	R1	25,3	25,2	12,7	12,7	500	12	32	48
2				R2	24,4		12,2					
3				R3	25,1		12,6					
4				R4	26,3		13,1					
5	TM2	RPM B - 45		R1	26,7	27,4	13,3	13,8				
6				R2	27,8		13,9					
7				R3	28,9		14,4					
8				R4	26,5		13,2					
9	TM3	RPM A - 60		R1	28,6	28,2	14,3	14,1				
10				R2	29,4		14,7					
11				R3	26,5		13,2					
12				R4	28,4		14,2					
13	TM4	RPM B - 30		R1	26,6	28,1	13,3	14,0				
14				R2	25,9		12,9					
15				R3	29,4		14,7					
16				R4	30,5		15,2					
17	TM5	RPM A - 45		R1	29,5	29,7	14,8	14,9				
18				R2	28,7		14,3					
19				R3	30,8		15,4					
20				R4	29,5		14,8					
21	TM6	RPM B - 60		R1	28,7	27,6	14,3	13,8				
22				R2	29,1		14,6					
23				R3	26,5		13,2					
24				R4	25,9		12,9					

Realizado por: Ledesma Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3, T4, T5 y T6: Tratamientos, M: Maíz, RPM A: Revoluciones por minuto alta, RPM B: Revoluciones por minuto baja, R: Repeticiones, P: Promedio.

**Tabla 4-3.** Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de almidón de quinua.

No. MUESTRA	TRATAMIENTO	VARIABLES RPM / TIEMPO	ALMIDÓN DE QUINUA (g)						VOLUMEN AGUA (mL)	TIEMPO DE RESPOSO (h)	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	TIEMPO DE SECADO (h)
			QUINUA CANTIDAD (g)	R	CANTIDAD DE ALMIDÓN (g)	P (g)	RENDIMIENTO (%)	PROMEDIO (g)				
1	TQ1	RPM A - 30	200	R1	22,3	22,6	11,1	11,3	500	12	32	48
2				R2	21,7		10,9					
3				R3	23,5		11,8					
4				R4	22,9		11,4					
5	TQ2	RPM B - 45		R1	23,8	22,2	11,9	11,1				
6				R2	21,5		10,8					
7				R3	20,8		10,4					
8				R4	22,9		11,4					
9	TQ3	RPM A - 60		R1	24,6	24,2	12,3	12,1				
10				R2	23,7		11,9					
11				R3	24,9		12,4					
12				R4	23,9		12,0					
13	TQ4	RPM B - 30		R1	23,2	23,7	11,6	11,9				
14				R2	23,8		11,9					
15				R3	22,7		11,3					
16				R4	24,8		12,4					
17	TQ5	RPM A - 45		R1	23,2	23,9	11,6	12,0				
18				R2	22,8		11,4					
19				R3	25,4		12,7					
20				R4	24,1		12,0					
21	TQ6	RPM B - 60	R1	24,3	23,6	12,1	11,8					
22			R2	23,3		11,7						
23			R3	22,8		11,4						
24			R4	23,8		11,9						

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3, T4, T5 y T6: Tratamientos, Q: Quinua, RPM A: Revoluciones por minuto alta, RPM B: Revoluciones por minuto baja, R: Repeticiones, P: Promedio.

### 3.1.3 Análisis estadístico del rendimiento del almidón de maíz y quinua.

El rendimiento del almidón de maíz y quinua fue estudiado mediante el análisis de varianza ANOVA, ejecutado en el programa Statgraphics Centurion XVI, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 5-3**, en donde se observa que los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el % RENDIMIENTO con un 95.0% de nivel de confianza.

**Tabla 5-3.** Análisis de varianza del rendimiento del almidón de maíz.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: TIEMPO DE LICUADO	0.135417	3	0.0451389	0.08	0.9699
B: REVOLUCIONES POR MINUTO	10.0946	5	2.01892	3.58	<b>0.0250</b>
RESIDUOS	8.46958	15	0.564639		
TOTAL (CORREGIDO)	18.6996	23			

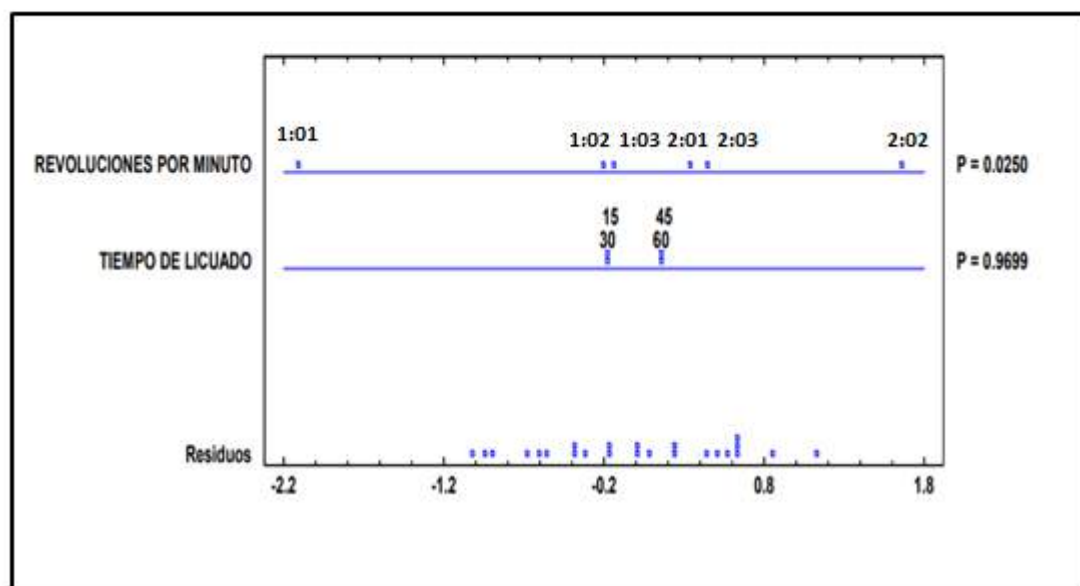
Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 6-3.** Análisis de medias por mínimos cuadrados para el rendimiento del almidón de maíz con intervalo de confianza del 95.0 %.

Nivel	Casos	Media	Error estadístico	Límite inferior	Límite superior
MEDIA GLOBAL	24	13.854			
TIEMPO DE LICUADO					
15	6	13.783	0.306768	131.295	13.1295
30	6	13.775	0.306768	131.211	13.1211
45	6	13.933	0.306768	132.795	13.2795
60	6	13.925	0.306768	132.711	13.2711
REVOLUCIONES POR MINUTO					
1:01	4	12.637	0.375712	118.367	11.8367
1:02	4	13.737	0.375712	129.367	12.9367
1:03	4	14.112	0.375712	133.117	13.3117
2:01	4	14.050	0.375712	132.492	13.2492
2:02	4	14.812	0.375712	140.117	14.0117
2:03	4	13.775	0.375712	129.742	12.9742

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

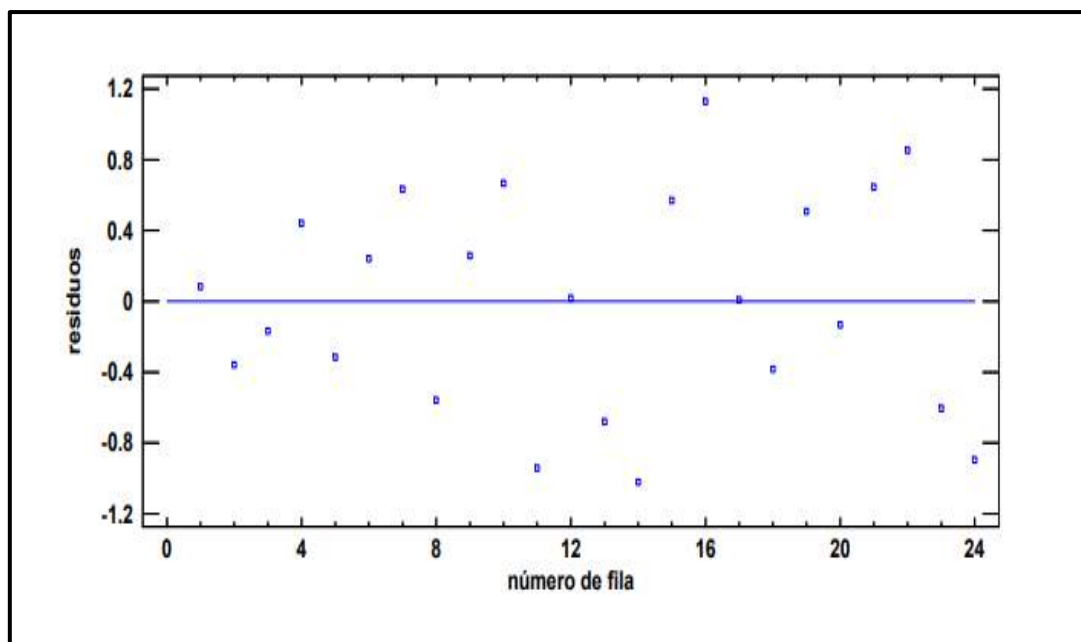
En el **Gráfico 1-3**, se puede apreciar el análisis de varianza ANOVA del rendimiento del almidón de maíz, donde el tiempo de licuado idóneo es de 60 minutos correspondientes a una velocidad alta de 2:02 rpm, obteniéndose así un valor-P menor que 0,05; lo que corresponde a una significancia estadísticamente significativa con respecto al rendimiento del almidón. Además, los residuos generados fueron mínimos a diferencia de los demás tiempos de licuado.



**Gráfico 7-3:** Análisis de varianza ANOVA para el Rendimiento del Almidón de Maíz.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

Analizando el **Gráfico 2-3**, se puede observar la dispersión de los residuos generados en cada uno de los tratamientos realizados en la obtención del almidón de maíz, donde los tratamientos N°3 y N°4 logran mantener estable la cantidad de residuos producidos comparación de los demás tratamientos; es decir se produjo una pérdida mínima de la materia prima. Resaltando también que el principal factor para que se produzca este tipo de dispersión son las diferentes velocidades de trituración de la materia prima empleadas en cada uno de los tratamientos.



**Gráfico 2-3:** Representación de los Residuos para el Rendimiento del Almidón de Maíz.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

El análisis de varianza para el rendimiento del almidón de quinua se indica en la **Tabla 7-3**, donde con un 95.0% de nivel de confianza, los valores-P de ningún tratamiento resultó menor que 0.05, es decir, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de rendimiento.

**Tabla 7-3.** Análisis de varianza del rendimiento del almidón de quinua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Revoluciones por minuto	2.61427	5	0.522854	2.56	0.0727
B: Tiempo	0.783646	3	0.261215	1.28	0.3180
RESIDUOS	3.06698	15	0.204465		
TOTAL (CORREGIDO)	6.4649	23			

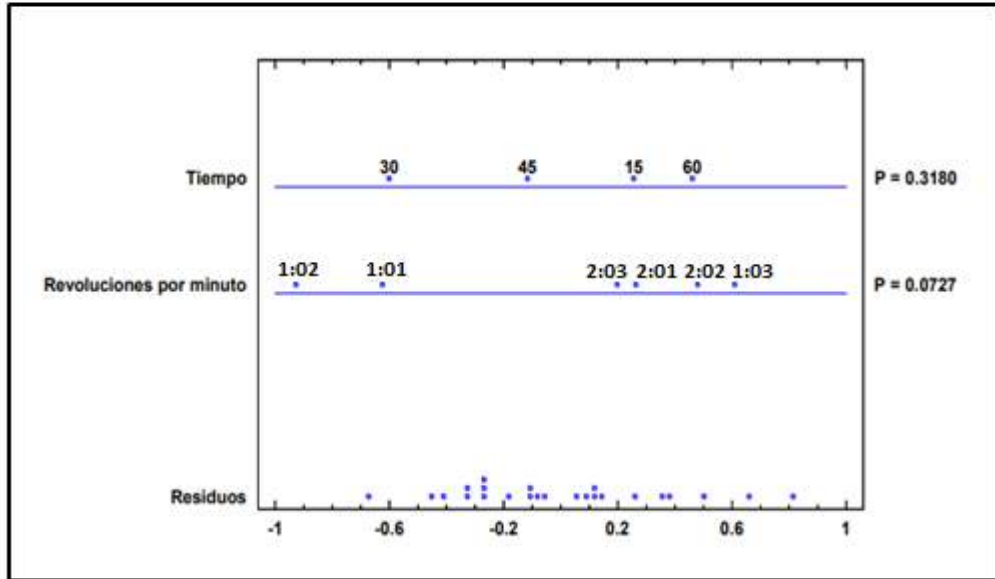
Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 8-3.** Análisis de medias por mínimos cuadrados para el rendimiento del almidón de quinua con intervalo de confianza del 95.0 %.

Nivel	Casos	Media	Error estadístico	Límite inferior	Límite superior
MEDIA GLOBAL	24	11.660			
Revoluciones por minuto					
1:01	4	11.30	0.226089	10.8181	11.7819
1:02	4	11.125	0.226089	10.6431	11.6069
1:03	4	12.012	0.226089	11.5306	12.4944
2:01	4	11.812	0.226089	11.3306	12.2944
2:02	4	11.937	0.226089	11.4556	12.4194
2:03	4	11.775	0.226089	11.2931	12.2569
Tiempo					
15	6	11.775	0.184601	11.3815	12.1685
30	6	11.391	0.184601	10.9982	11.7851
45	6	11.608	0.184601	11.2149	12.0018
60	6	11.866	0.184601	11.4732	12.2601

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

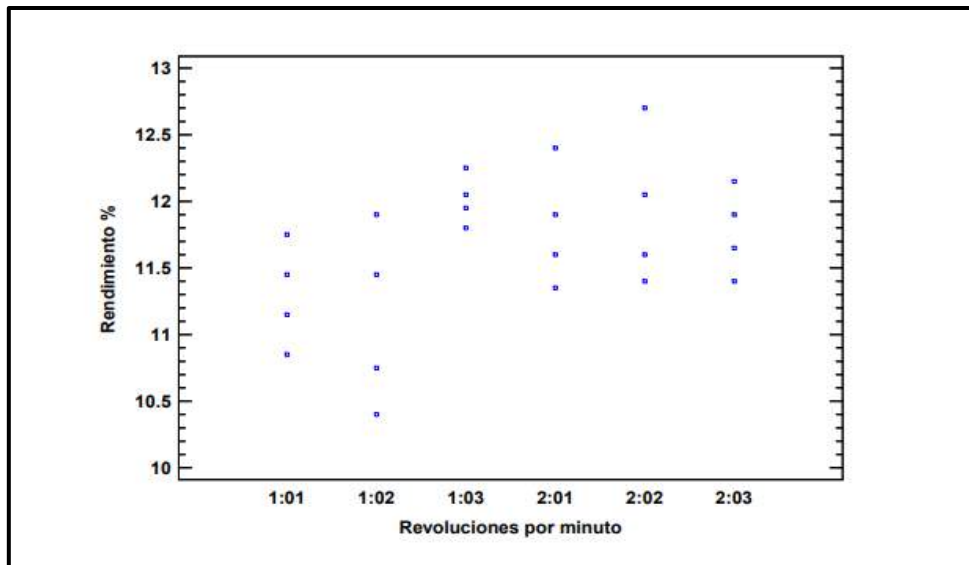
Como se puede observar en el **Gráfico 3-3**, no existe diferencia significativa en la obtención del almidón de quinua con respecto a la manipulación de las velocidades de trituración, en vista de que, el valor-P resultó ser mayor a 0.05 en relación al 95 % del nivel de confianza del rendimiento. Así mismo, la velocidad adecuada de trituración para conseguir un rendimiento alto es de 2:03 rpm con un tiempo aproximado de 60 minutos respectivamente. Por otro lado, la generación de residuos es mínima en comparación con los demás tratamientos, gracias a los diferentes tiempos y velocidades empleadas de trituración de la quinua.



**Gráfico 3-3:** Análisis de varianza ANOVA para el Rendimiento del Almidón de Quinoa.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

La cantidad de almidón de quinua más rentable fue del 12,01 % logrando obtener este rendimiento a una velocidad óptima de 2:03 rpm como se puede visualizar en el **Gráfico 4-3**, donde se describe cada uno de los rendimientos obtenidos con sus respectivas velocidades aplicadas.



**Gráfico 4-3:** Representación del Rendimiento para cada tratamiento del Almidón de Quinoa.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.1.4 Caracterización del almidón de maíz y quinua mediante análisis físico-químicos.

A continuación, en la **Tabla 9-3** se muestran los resultados obtenidos de la caracterización físico-química del almidón de maíz, además se indica el rango estándar que deben presentar cada uno de los ensayos físico químicos en base a la norma FAO (1999, pp. 65-72), norma NTE INEN 1456 (2012) y un estudio realizado por Urango (2018, pp. 192-194).

Se consideran los mismos valores de referencia para la caracterización del almidón de quinua, resultados que se presentan en la **Tabla 10-3**.

**Tabla 9-3.** Resultados obtenidos de la caracterización físico-química del almidón de maíz.

N°	PARÁMETROS	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO OBTENIDO	RANGO ESTÁNDAR	NORMA
1	Amilosa (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	21,23%	17 – 24 %	(Urango, 2018, pp. 192-1993)
2	Amilopectina (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	78,77%	76 - 83 %	
3	Humedad (%)	Método AOAC 925.09	12,74%	11,6 – 20,0 %	
4	Proteína (%)	Método AOAC 954.01	5,84%	4,50 - 9,87 %	
5	Fibra (%)	Método AOAC 962.09	0,84%	0,90 - 2,95 %	
6	Cenizas (%)	Método AOAC 923.03	0,93%	0,06 - 1,30 %	
7	Carbohidratos totales (%)	U. FLORIDA 1970	91,02%	69,6 – 95,0 %	
8	Grasa (%)	U. FLORIDA 1970	1,37%	1,17 - 4,43 %	
9	pH	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	5,42	4,5 – 6,5	(INEN 1456, 2012)
10	Azúcares totales	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	0,23%	0,2 - 0,7 %	
11	Solubilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	Soluble	Presencia de opalescencia	
12	Sensibilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	Color azul intenso	Color azul intenso	
13	Temperatura de gelatinización (°C)	Técnica usada (Smith, 1967)	64,33 °C	57,5 – 70,0 °C	(FAO, 1999, pp. 65-72)
14	Densidad compacta	Técnica usada (Smith, 1967)	1,452g/ml	1,346 - 1,567 g/ml	
15	Densidad suelta	Técnica usada (Grace, 1977)	1,525 g/ml	1,512 - 1,678 g/ml	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.



**Tabla 10-3.** Resultados obtenidos de la caracterización físico-química del almidón de quinua.

N°	PARÁMETROS	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO OBTENIDO	RANGO ESTÁNDAR	NORMA
1	Amilosa (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	20,09%	17 - 24 %	(Huamani et al., 2020, p. 382)
2	Amilopectina (%)	Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	79,91%	76 - 83 %	
3	Humedad (%)	Método AOAC 925.09	11,40%	11,6 – 20,0 %	(Urango, 2018, pp. 192-1993)
4	Proteína (%)	Método AOAC 954.01	6,35%	4,50 - 9,87 %	
5	Fibra (%)	Método AOAC 962.09	1,44%	0,90 - 2,95 %	
6	Cenizas (%)	Método AOAC 923.03	1,08%	0,06 - 1,30 %	
7	Carbohidratos totales (%)	U. FLORIDA 1970	87,40%	69,6 – 95,0 %	
8	Grasa (%)	U. FLORIDA 1970	3,73%	1,17 - 4,43 %	
9	pH	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	4,52	4,5 – 6,5	(INEN 1456, 2012)
10	Azúcares totales	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	3,95%	2,5 - 4,7 %	
11	Solubilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	Soluble	Presencia de opalescencia	
12	Sensibilidad	Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1456	Color azul intenso	Color azul intenso	
13	Temperatura de gelatinización (°C)	Técnica usada (Smith, 1967)	64 °C	57,5 – 70,0 °C	(FAO, 1999, pp. 65-72)
14	Densidad compacta	Técnica usada (Smith, 1967)	1,367g/ml	1,346 - 1,567 g/ml	
15	Densidad suelta	Técnica usada (Grace, 1977)	1,457 g/ml	1,512 - 1,678 g/ml	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.2 Caracterización físico-química y mecánica del bioplástico de maíz y quinua.

#### 3.2.1 Ensayos preliminares para la obtención del bioplástico de maíz y quinua.

En la **Tabla 11-3** y **Tabla 12-3** se indican los tratamientos preliminares que se realizaron para la obtención del bioplástico tanto de maíz como de quinua. En las tablas se presenta las cantidades de almidón y glicerina utilizadas, además el tiempo y temperatura de secado empleada en cada uno de los ensayos preliminares. Logrando así obtener películas con diferentes características físico-químicas y mecánicas.

**Tabla 11-3.** Pruebas preliminares para la elaboración del bioplástico de maíz.

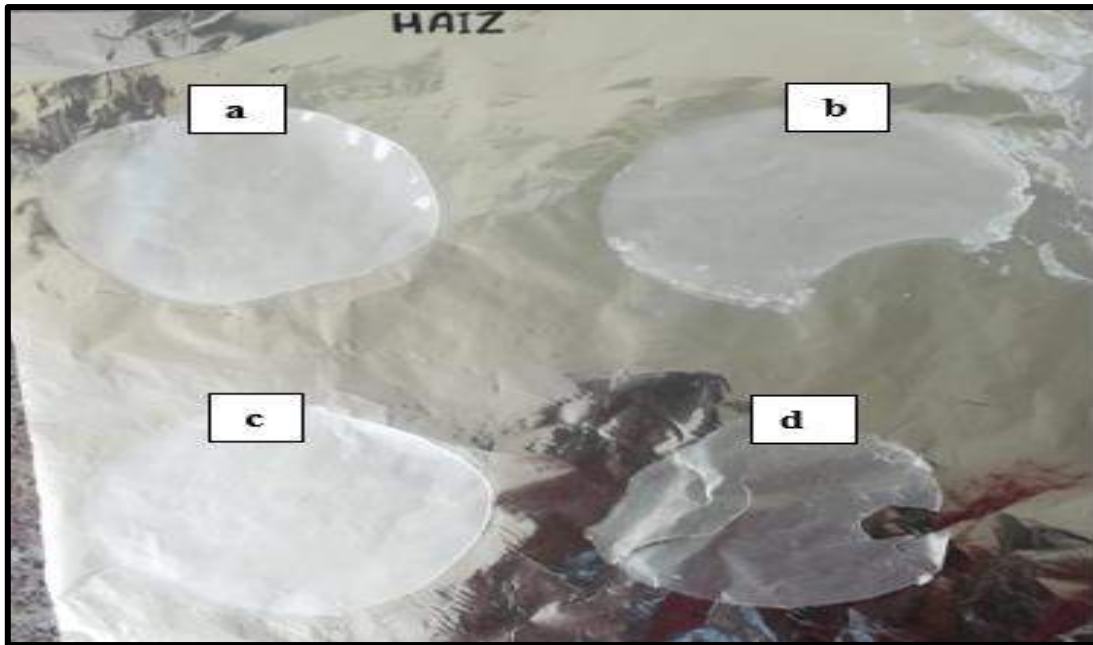
TRATAMIENTOS	ALMIDÓN (g)	GLICERINA (mL)	FORMACIÓN DE BIOPLÁSTICO	FACILIDAD DE MOLDEO	TIEMPO DE SECADO (h)	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	OBSERVACIONES
TM1	1,5	2	SI	SI	24	45	Película estable, resistente y de color blanco.
TM2	2,0	2	SI	SI			Película con mala resistencia y elasticidad.
TM3	2,5	2	SI	SI			Película resistente con buena elasticidad y de color transparente.
TM4	3,0	2	SI	NO			Película quebradiza con mala resistencia.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 12-3.** Pruebas preliminares para la elaboración del bioplástico de quinua.

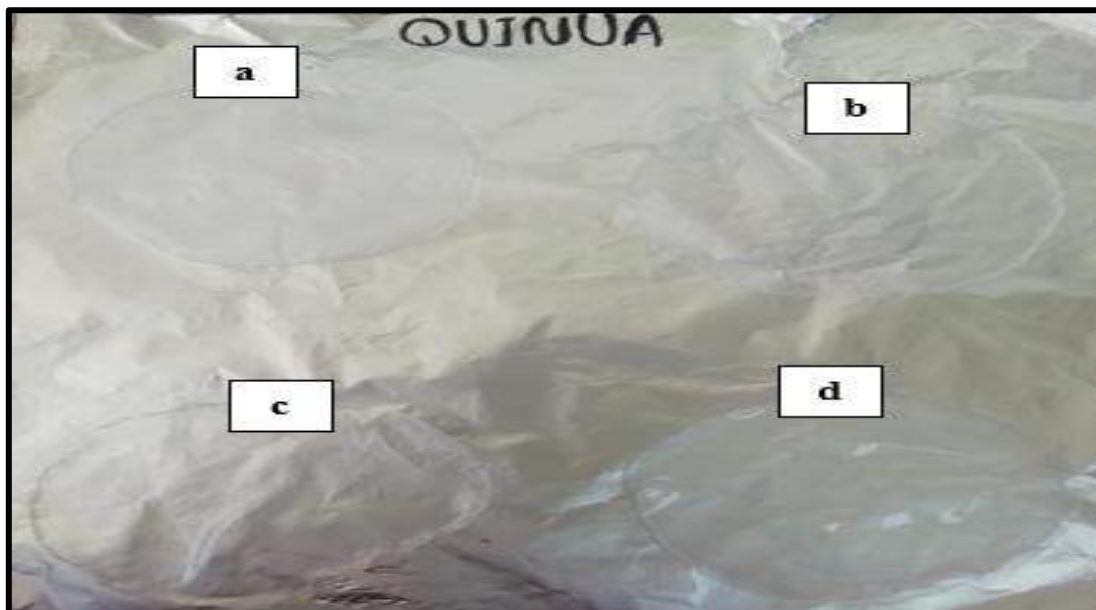
TRATAMIENTOS	ALMIDÓN (g)	GLICERINA (mL)	FORMACIÓN DE BIOPLÁSTICO	FACILIDAD DE MOLDEO	TIEMPO DE SECADO (h)	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	OBSERVACIONES
TQ1	2,0	2	SI	SI	24	45	Película estable, resistente con buena elasticidad.
TQ2	2,5	2	SI	SI			Película estable, con textura pegajosa.
TQ3	3,0	2	SI	NO			Película con tendencia a doblarse.
TQ4	3,5	2	SI	SI			Película de color blanco, con mala elasticidad.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 1-3.** Bioplástico obtenido a partir de almidón de maíz, obtenidos a diferentes concentraciones de almidón, agua y glicerina. (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3, (d) TM4.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 2-3.** Bioplástico obtenido a partir de almidón de quinua, obtenidos a diferentes concentraciones de almidón, agua y glicerina. (a) TQ1, (b) TQ2, (c) TQ3, (d) TQ4.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.2.2 Evaluación del análisis sensorial del bioplástico de maíz y quinua.

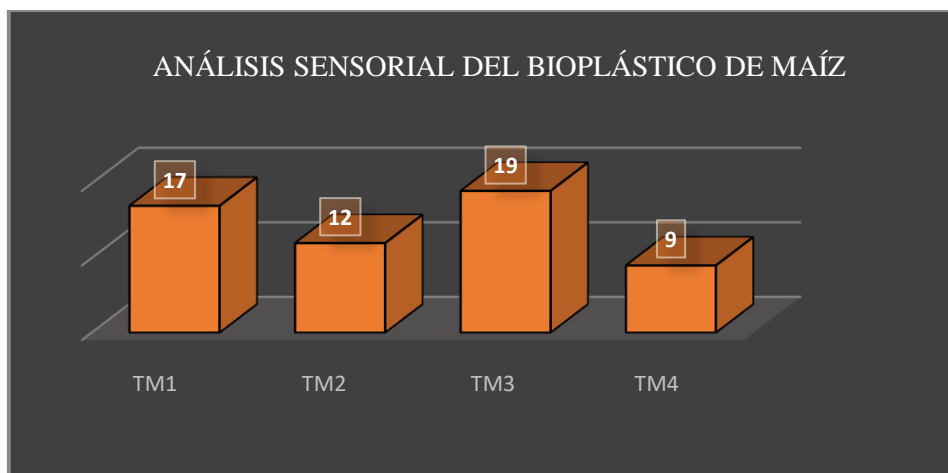
Los resultados obtenidos del análisis sensorial para el bioplástico de maíz se pueden observar en la **Tabla 13-3**, destacándose los tratamientos 1 y 3 debido a las excelentes características que presentaron ante los demás tratamientos; siendo de aspecto transparente y textura lisa, sin embargo, el **TM3** es el tratamiento óptimo pues permitió la obtención de bioplástico que puede reemplazar a los plásticos convencionales. Esta determinación se basa en los resultados de la investigación realizada por Tubón (2013, pp. 42-43), quien señala que las características físicas que debe presentar un bioplástico para uso de envoltura alimenticia son principalmente la flexibilidad y resistencia, además del aspecto y textura.

**Tabla 13-3.** Resultados obtenidos del análisis sensorial del bioplástico de maíz.

TRATAMIENTOS	PARÁMETROS			
	ASPECTO	TEXTURA	FLEXIBILIDAD	RESISTENCIA
TM1	Transparente	Lisa	Poco Flexible	Fuerte
TM2	Cristalino	Áspera	Poco Flexible	Débil
TM3	Transparente	Lisa	Flexible	Fuerte
TM4	Cristalino	Áspera	Poco Flexible	Débil

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

El análisis sensorial del bioplástico de maíz y quinua fue realizado en base a las 16 pruebas preliminares que se obtuvieron al ejecutar el diseño factorial  $2^k$ . Análisis que se llevó a cabo mediante una calificación en escala de 1 – 5 para cada uno de los parámetros expuestos en la **Tabla 13-3**. La puntuación final para cada uno de los tratamientos es representada en el **Gráfico 5-3**, donde se puede observar que los tratamientos N°1 y N°3 tienen las puntuaciones más elevadas. Teniendo presente que el tratamiento N°3 es el más óptimo para ser caracterizado mediante pruebas físico-químicas y mecánicas, ya que, una envoltura destinada para uso alimenticio debe mostrar buena flexibilidad, resistencia, textura y aspecto como lo señala Tubón (2013, pp. 42-43), en su investigación.



**Gráfico 5-3:** Resultados de la Evaluación del Análisis Sensorial del Bioplástico de Maíz.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

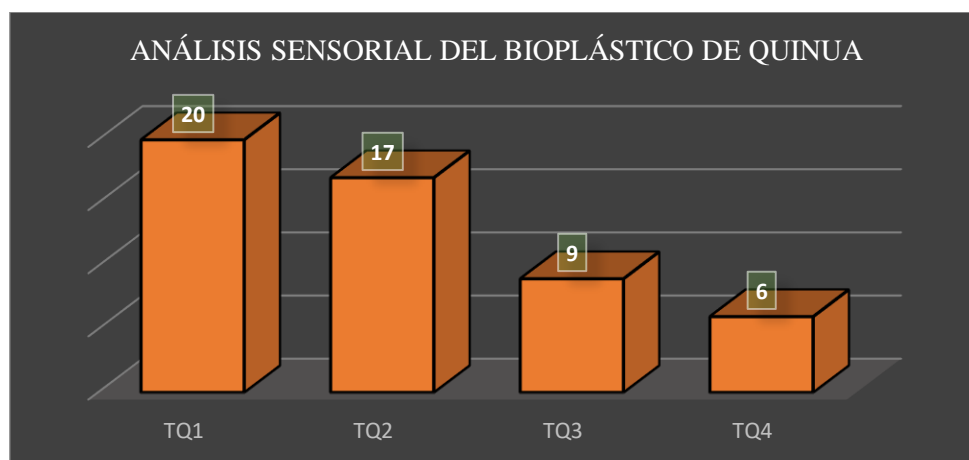
A continuación, en la **Tabla 14-3** se puede observar los resultados del análisis sensorial del bioplástico de quinua, en el que, los tratamientos **TQ1** y **TQ2** fueron los que sobresalieron ante las demás formulaciones, debido a que mostraron las mejores características físicas con respecto a su aspecto y textura, sin embargo, para que la película pueda ser aceptable como envoltura de alimentos debe tener una resistencia fuerte y buena flexibilidad como los bioplásticos obtenidos por Tubón (2013, pp. 42-43), por esta razón, se seleccionó el **TQ1** para la respectiva caracterización físico química y mecánica.

**Tabla 14-3.** Resultados obtenidos del análisis sensorial del bioplástico de quinua.

TRATAMIENTOS	PARÁMETROS			
	ASPECTO	TEXTURA	FLEXIBILIDAD	RESISTENCIA
TQ1	Transparente	Lisa	Flexible	Fuerte
TQ2	Transparente	Lisa	Flexible	Débil
TQ3	Opaco	Lisa	Flexible	Débil
TQ4	Opaco	Áspera	Poco Flexible	Fuerte

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

En el **Gráfico 6-3**, se presenta la puntuación final para cada uno de los tratamientos del bioplástico de quinua. Se puede evidenciar que el tratamiento N°1 es el más apropiado para su caracterización físico-química y mecánica, gracias a las buenas características presentadas, considerando las mismas referencias bibliográficas del bioplástico de maíz.



**Gráfico 6-3:** Resultados de la Evaluación del Análisis Sensorial del Bioplástico de Quinua.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

### ***3.2.3 Cálculos realizados para determinar las propiedades físico-químicas y mecánicas del bioplástico de maíz y quinua.***

A partir de los resultados del análisis sensorial del bioplástico de maíz y quinua, se precedió a elegir las mejores biopelículas, para su respectiva caracterización físico-química y mecánica mediante la realización de diferentes ensayos que se presentan a continuación:

#### ***3.2.3.1 Cálculo del porcentaje de humedad***

La determinación del porcentaje de humedad de los bioplásticos de maíz y quinua se realizó por duplicado, consiguiendo así un promedio total para cada tratamiento. Seguidamente se tiene el cálculo del **TQ1** como ejemplo representativo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la biopelícula} - \text{Peso final de la biopelícula}}{\text{Peso inicial de la biopelícula}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1-2}$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(1,2027 - 0,8416) \text{ g}}{(1,2027) \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 30,02 \%$$

### 3.2.3.2 Cálculo del porcentaje de solubilidad

El porcentaje de solubilidad se determinó por duplicado para ambos tipos de bioplástico. A continuación, se muestra la fórmula empleada y el cálculo como modelo del tratamiento **TQ1**.

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial de película seca} - \text{Peso final de película seca}}{\text{Peso inicial de la película seca}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{(0,111 - 0,090) \text{ g}}{(0,111) \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad} = 18,02 \%$$

### 3.2.3.3 Cálculo del grado de transmisión de vapor de agua

Al igual que los anteriores ensayos el grado de transmisión de vapor de agua se lo evaluó por duplicado para cada tipo de bioplástico. A continuación, se indica la fórmula y el cálculo modelo para el TQ1.

– **Tasa de transmisión de vapor de agua**

$$WVTR = \frac{\left(\frac{Q}{t}\right)}{A} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$WVTR = \frac{\frac{(31,44-31,43) \text{ g}}{(4) \text{ h}}}{6,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$WVTR = 4,0 \text{ g / h} \cdot \text{m}^2$$

$$\Delta p = s'(HR2 - HR1) \quad \text{Ecuación 4-2}$$

$$\Delta p = 0,002488 (75 - 0)$$

$$\Delta p = 0,19 \text{ MPa}$$

– **Permeabilidad de vapor de agua**

$$WVP = \frac{WVTR \cdot e}{\Delta p} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

$$WVP = \frac{(4,0) \text{ g / h} \cdot \text{m}^2 \times (1 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,19 \text{ Mpa}}$$



$$WVP = 2,11 \text{ E-03 } g \times h^{-1} \times m^{-1} \times MPa^{-1}$$

**3.2.4 Resultados obtenidos de la caracterización físico-química y mecánica del bioplástico de maíz y quinua.**

**3.2.4.1 Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de maíz y quinua.**

En la **Tabla 15-3**, se presentan los resultados obtenidos del espesor de los bioplástico de maíz. Además, se puede evidenciar que el espesor de cada uno de los tratamientos se encuentra dentro de los límites de referencia de la Norma NTE INEN 2635 MÉTODOS DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS. Estableciendo la norma como valor máximo un espesor de 1,0 mm. Se tomó en cuenta las mismas consideraciones para el bioplástico de quinua, resultados que se presentan en la **Tabla 16-3**.

**Tabla 15-3.** Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de maíz.

No. MUESTRA	TRATAMIENTOS	RÉPLICAS	ESPESOR (mm)	PROMEDIO (mm)
1	TM1	R1	0,2	0,15
2		R2	0,2	
3		R3	0,1	
4		R4	0,1	
5	TM2	R1	0,2	0,17
6		R2	0,2	
7		R3	0,1	
8		R4	0,2	
9	TM3	R1	0,2	0,20
10		R2	0,2	
11		R3	0,2	
12		R4	0,2	
13	TM4	R1	0,2	0,12
14		R2	0,1	
15		R3	0,1	
16		R4	0,1	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 16-3.** Resultados del ensayo de espesor del bioplástico de quinua.

No. MUESTRA	TRATAMIENTOS	RÉPLICAS	ESPESOR (mm)	PROMEDIO (mm)
1	TQ1	R1	0,1	0,15
2		R2	0,1	
3		R3	0,2	
4		R4	0,2	
5	TQ2	R1	0,1	0,15
6		R2	0,2	
7		R3	0,2	
8		R4	0,1	
9	TQ3	R1	0,1	0,17
10		R2	0,2	
11		R3	0,2	
12		R4	0,2	
13	TQ4	R1	0,2	0,12
14		R2	0,1	
15		R3	0,1	
16		R4	0,1	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

3.2.4.2 Resultados obtenidos del ensayo de humedad del bioplástico de maíz y quinua.

**Tabla 17-3.** Resultados del ensayo de humedad del bioplástico de maíz y quinua.

BIOPLÁSTICO	TRATAMIENTOS	HUMEDAD PROMEDIO (%)	LÍMITES DE REFERENCIA
MAÍZ	TM1	38,74	(25,95 - 42,71) % (Guamán, 2019, p. 41)
	TM2	32,83	
	TM3	37,63	
QUINUA	TQ1	30,02	
	TQ2	35,17	
	TQ3	28,77	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

3.2.4.3 Resultados obtenidos del ensayo de solubilidad del bioplástico de maíz y quinua.

**Tabla 18-3.** Resultados del ensayo de solubilidad del bioplástico de maíz y quinua.

BIOPLÁSTICO	TRATAMIENTOS	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	SOLUBILIDAD PROMEDIO (%)	LÍMITES DE REFERENCIA
MAÍZ	TM1	0,123	0,099	19,51	(14,84 - 60,96) % (Trujillo, 2014, p. 75)
	TM2	0,115	0,095	17,39	
	TM3	0,129	0,104	19,38	
QUINUA	TQ1	0,111	0,091	18,02	
	TQ2	0,109	0,088	19,27	
	TQ3	0,112	0,091	18,75	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

3.2.4.4 Resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad de vapor de agua para el bioplástico de maíz y quinua.

**Tabla 19-3.** Datos para determinar la permeabilidad de vapor de agua.

No. MUESTRA	BIOPLÁSTICOS	TRATAMIENTOS	ESPELOR (m)	TIEMPO (h)	ÁREA DEL BIOPLÁSTICO (m <sup>2</sup> )
1	MAÍZ	TM1	1,0x10 <sup>-4</sup>	1	6,25x10 <sup>-4</sup>
2		TM2	1,2x10 <sup>-4</sup>	2	
3		TM3	1,1x10 <sup>-4</sup>	3	
4	QUINUA	TQ1	1,0x10 <sup>-4</sup>	4	
5		TQ2	1,2x10 <sup>-4</sup>	5	
6		TQ3	1,1x10 <sup>-4</sup>	6	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 20-3.** Datos para determinar la permeabilidad de vapor de agua.

No. MUESTRA	BIOPLÁSTICO	TRATAMIENTO	PESO 1 (g)		PESO 2 (g)		PESO 3 (g)		PESO 4 (g)		PESO 5 (g)	
1	MAÍZ	TM1	31,66	31,67	31,76	31,77	31,83	31,84	31,86	31,89	31,90	31,95
2		TM2	31,92	31,93	32,01	32,03	32,07	32,10	32,10	32,13	32,17	32,19
3		TM3	32,03	32,04	32,12	32,13	32,18	32,20	32,15	32,21	32,2	32,30
4	QUINUA	TQ1	31,43	31,44	31,52	31,53	31,50	31,60	31,60	31,64	31,68	31,71
5		TQ2	31,27	31,28	31,36	31,37	31,40	31,44	31,45	31,50	31,50	31,54
6		TQ3	31,21	31,22	31,31	31,32	31,36	31,39	31,35	31,42	31,43	31,50

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 21-3.** Resultados de la tasa de transmisión de vapor del bioplástico de maíz y quinua.

WVTR (Tasa de Transmisión de Vapor) g/h*m <sup>2</sup>							
BIOPLÁSTICO	TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	PROMEDIO
MAÍZ	TM1	16,0	16,1	15,9	47,9	32,0	25,6
	TM2	8,0	16,0	24,0	24,0	16,0	17,6
	TM3	5,3	5,4	10,7	32,0	10,7	12,8
QUINUA	TQ1	4,0	3,9	40,0	16,0	12,0	15,1
	TQ2	3,2	3,4	12,8	17,9	12,8	10,0
	TQ3	2,7	2,8	10,7	18,7	18,7	10,7

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

**Tabla 22-3.** Resultados de la permeabilidad de vapor del bioplástico de maíz y quinua.

PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA (g*h-1*m-1*MPa-1)								
BIOPLÁSTICO	TRATAMIENTO	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
MAÍZ	TM1	8,42E-03	8,47E-03	8,36E-03	0,02521	0,01684	0,0134	(0,03 – 0,374) (Trujillo, 2014, pp.82-87)
	TM2	5,05E-03	9,26E-03	0,01515	0,01515	0,01010	0,0109	
	TM3	3,06E-03	3,12E-03	6,19E-03	0,01852	6,19E-03	0,0370	
QUINUA	TQ1	2,11E-03	2,05E-03	0,02105	8,42E-03	6,31E-03	0,0231	
	TQ2	2,02E-03	2,14E-03	8,08E-03	0,01130	8,08E-03	0,0208	
	TQ3	1,56E-03	1,62E-03	6,19E-03	0,01082	0,01082	0,0256	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.2.4.5 Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas del bioplástico de maíz y quinua.

El ensayo de tracción de los bioplásticos de maíz y quinua se efectuó en base al procedimiento de la Norma NTE INEN 2635. Es importante mencionar que para este ensayo se escogió a las 3 mejores probetas de cada muestra. En la **Tabla 23-3** se observan los resultados obtenidos del módulo de elasticidad, al ser estos datos completamente positivos significa que se ha obtenido biopolímeros con buena elasticidad y resistencia. De la misma manera, se puede verificar que el esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y elongación máxima se encuentran dentro de los valores reportados por Trujillo (2014, pp. 93-106). De tal manera que, debido a ello las probetas que sobresalieron en el análisis fueron la N° 3 para el maíz y la N° 1 para la quinua.

**Tabla 23-3.** Resultados del ensayo de tracción de los bioplásticos de maíz y quinua.

BIOPLÁSTICO	PROBETAS	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	ELONGACIÓN MÁXIMA (%)	LÍMITES DE REFERENCIA
MAÍZ	1	7,275	1,01	0,86	15,87	(0,1710 – 211,638) MPa (20,7 – 121) % (Trujillo, 2014, pp. 93-106)
	2	6,002	0,81	0,77	23,30	
	3	2,448	0,64	0,61	33,78	
	<b>PROMEDIO</b>	<b>3,059</b>	<b>0,82</b>	<b>0,75</b>	<b>24,32</b>	
QUINUA	1	1,578	0,40	0,37	29,18	
	2	1,440	0,34	0,32	28,03	
	3	1,904	0,39	0,38	23,87	
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,640</b>	<b>0,38</b>	<b>0,36</b>	<b>27,03</b>	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.2.4.6 Resultados obtenidos del análisis microbiológico de los bioplásticos de maíz y quinua.

En la **Tabla 24-3**, se presentan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de los bioplásticos de maíz y quinua, mismos que se efectuaron en base al procedimiento de la norma FAO (1999, pp. 93-99), Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Los resultados se muestran totalmente favorables, es decir no existió la presencia de bacterias patógenas en ninguna de las muestras.

**Tabla 24-3.** Resultados del análisis microbiológico de los bioplásticos de maíz y quinua.

BIOPLÁSTICO	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITES DE REFERENCIA
MAÍZ	Coliformes totales	(UFC/g)	Ausencia	-
	Coliformes fecales	(UFC/g)	Ausencia	<10
	Mohos y levaduras	(UFC/g)	Ausencia	1000 - 5000
QUINUA	Coliformes totales	(UFC/g)	Ausencia	-
	Coliformes fecales	(UFC/g)	Ausencia	<10
	Mohos y levaduras	(UFC/g)	Ausencia	1000 - 5000

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

Por otro lado, en las **Figura 3-3** y **Figura 4-3**, se puede observar las placas de siembra íntegramente limpias, debido a que los bioplásticos producidos se elaboraron con todas las medidas de bioseguridad, considerando que dicho material tiene la finalidad de ser utilizado como envoltura de alimentos.



**Figura 3-3:** Análisis Microbiológico del Bioplástico de Maíz.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 4-3:** Análisis Microbiológico del Bioplástico de Quinua.

**Realizado por:** Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.3 Resumen de los resultados de la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos de la caracterización físico-química realizada a las biopelículas tanto de maíz como de quinua. Para esto, se tomó en cuenta los bioplásticos con mejores resultados en el análisis sensorial siendo para el maíz el TM3 y para la quinua el TQ1. Por otro lado, también se puede evidenciar los rangos estándar establecidos por las normas INEN 2542, FAO 1999 y de investigaciones ejecutadas por Trujillo, 2014 y Guamán, 2019. Al comparar los resultados obtenidos con los rangos establecidos por las diferentes normativas y estudios mencionados, se puede verificar que los valores alcanzados cumplen con los requisitos de calidad que deben tener las láminas plásticas delgadas para ser utilizadas como envolturas de alimentos.

**Tabla 25-3.** Resumen de la caracterización físico-química de los bioplásticos de maíz y quinua.

RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS BIOPLÁSTICOS DE MAÍZ Y QUINUA					
TRATAMIENTO	BIOPLÁSTICO	ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	RANGO ESTÁNDAR	NORMA
TM3	MAÍZ	Espesor (mm)	0,20	0,07 - 0,20	(INEN 2542, 2010, p. 3)
		Humedad (%)	37,63	25,95 - 42,71	(Guamán, 2019, p. 41)
		Solubilidad (%)	19,38	14,84 - 60,96	(Trujillo, 2014, pp. 75-87)
		Permeabilidad de vapor ( $g \cdot h^{-1} \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1}$ )	0,0370	0,03 - 0,374	
		Análisis Microbiológico (UFC/g)	Ausencia	-	(FAO, 1999, pp. 93-99)
TQ1	QUINUA	Espesor (mm)	0,15	0,07 - 0,20	(INEN 2542, 2010, p. 3)
		Humedad (%)	30,02	25,95 - 42,71	(Guamán, 2019, p. 41)
		Solubilidad (%)	18,02	14,84 - 60,96	(Trujillo, 2014, pp. 75-87)
		Permeabilidad de vapor ( $g \cdot h^{-1} \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1}$ )	0,0231	0,03 - 0,374	
		Análisis Microbiológico (UFC/g)	Ausencia	-	(FAO, 1999, p. 94)

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

De la misma manera, en la **Tabla 26-3**, se muestra el resumen de los resultados obtenidos de la caracterización mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua, tomando como referencia las láminas TM3 para el maíz y TQ1 para la quinua, debido a que presentaron mejores resultados en relación con los demás tratamientos preliminares, del mismo modo, al comparar los datos con un estudio realizado por Trujillo (2014, pp. 93-108), se puede observar que los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos, considerando los mismos valores de referencia para ambos bioplásticos.

**Tabla 26-3.** Resumen de la caracterización mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua.

RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS BIOPLÁSTICOS DE MAÍZ Y QUINUA					
TRATAMIENTO	BIOPLÁSTICO	ENSAYO DE TRACCIÓN	RESULTADO OBTENIDO	RANGO ESTÁNDAR	NORMA
TM3	MAÍZ	Módulo de elasticidad (MPa)	2,44	0,1710 – 211,638	(Trujillo, 2014, pp. 93-108)
		Esfuerzo máximo (MPa)	0,64	0,50 – 25,6	
		Esfuerzo de fluencia (MPa)	0,61	0,171 – 7,761	
		Elongación máxima (%)	33,78	20,7 – 121	
TQ1	QUINUA	Módulo de elasticidad (MPa)	1,57	0,1710 – 211,638	
		Esfuerzo máximo (MPa)	0,40	0,50 – 25,6	
		Esfuerzo de fluencia (MPa)	0,37	0,171 – 7,761	
		Elongación máxima (%)	29,18	20,7 – 121	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.4 Determinación de la biodegradabilidad de los bioplásticos en base a la norma EN 13432.

El ensayo de biodegradabilidad de las películas de maíz y quinua consistió principalmente en la pérdida de su masa y el aspecto que toman cada una de las muestras en un tiempo determinado. Según la norma EN 13432 un material es compostable al descomponerse como mínimo el 90 % de su estructura durante 6 meses.

Así pues, tomando en cuenta lo establecido por la norma, el ensayo de biodegradabilidad de los bioplásticos de maíz y quinua fueron evaluados mediante 3 métodos: anaerobio, aerobio y acuoso.



Para lo cual se cortó a los plásticos en medidas aproximadas de 2,5 cm x 2,5 cm, para cada uno de los métodos a desarrollar con un tiempo de duración de 30 días para el medio anaerobio y aerobio, y de 20 días en el caso de la biodegradabilidad en medio acuoso, los pesos fueron registrados cada 5 días.

El porcentaje de pérdida de la biodegradabilidad se realizó en base a la siguiente fórmula, a continuación, se indica el cálculo modelo para el tratamiento **TQ1**.

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial seco de la película} - \text{Peso final seco de la película}}{\text{Peso inicial seco de la película}} \times 100 \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{(1,06 - 1,00) \text{ g}}{(1,06) \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Pérdida de peso} = 5,66 \%$$

#### ***3.4.1 Resultados obtenidos del ensayo de biodegradabilidad de los bioplástico de maíz y quinua.***

A continuación, en las **Tablas 27-3, 28-3 y 29-3** se muestran los resultados de biodegradabilidad del bioplástico de maíz en medio anaerobio, aerobio y medio acuoso. Se puede observar el aspecto que adoptaron cada una de las muestras al pasar los días durante el periodo de prueba.





























**Tabla 27-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio anaerobio.

ANÁLISIS EN MEDIO ANAEROBIO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ							
D T	0	5	10	15	20	25	30
TM1							
TM2							
TM3							
TM4							

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.





















**Tabla 28-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio aerobio.

ANÁLISIS EN MEDIO AEROBIO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ							
D T	0	5	10	15	20	25	30
TM1							
TM2							
TM3							
TM4							

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.

**Tabla 29-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de maíz en medio acuoso.

ANÁLISIS EN MEDIO ACUOSO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ					
T \ D	0	5	10	15	20
TM1					
TM2					
TM3					
TM4					

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.

En las **Tablas 30-3, 31-3 y 32-3** se presentan los resultados del cambio de aspecto que adoptaron las biopelículas de quinua en medio anaerobio, aerobio y medio acuoso mientras duraba el tiempo de prueba.


**Tabla 30-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio anaerobio.

ANÁLISIS EN MEDIO ANAEROBIO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA							
T \ D	0	5	10	15	20	25	30
TQ1							
TQ2							
TQ3							
TQ4							

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.












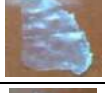








**Tabla 31-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio aerobio.

ANÁLISIS EN MEDIO AEROBIO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA							
T \ D	0	5	10	15	20	25	30
TQ1							
TQ2							
TQ3							
TQ4							

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.

**Tabla 32-3.** Resultados del aspecto del bioplástico de quinua en medio acuoso.

ANÁLISIS EN MEDIO ACUOSO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA					
T \ D	0	5	10	15	20
TQ1					
TQ2					
TQ3					
TQ4					

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* D: Días, T: Tratamientos.

El porcentaje de pérdida de masa de las biopelículas de maíz y quinua se evaluaron una vez que las muestras fueron desenterradas y limpiadas minuciosamente con la finalidad de no destruir su estructura física. Del mismo modo, el análisis en medio acuoso consistió en retirar cuidadosamente los bioplásticos y llevarlos a secado para finalmente proceder a pesarlos.

De tal forma que, se logró obtener resultados bastante favorables puesto que, en medio anaerobio las láminas presentaron una pérdida de masa de aproximadamente 49 %, mientras que, en medio aerobio se presentó una pérdida del 40 % durante un tiempo de 30 días aproximadamente para ambos casos. Se considera que los resultados obtenidos son equivalentes a los reportados por Guamán (2019, p.44), en su investigación, debido a que utilizó el mismo tiempo de degradación.

Por otro lado, el análisis en medio acuoso resultó ser más efectivo en vista de que, en tan solo 20 días los bioplásticos se degradaron un 55 %, siendo este resultado verificado a través del estado de su estructura física. De acuerdo con Meza et al., (2019, p.77), en su investigación alcanzó una pérdida de masa en medio acuoso de 64,21% en 60 días, debido que se utilizaron otros tipos de plastificantes.

Los resultados de biodegradabilidad del plástico de maíz en medio anaerobio, aerobio y medio acuoso se resumen en las siguientes tablas.

**Tabla 33-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio anaerobio.

N° DÍAS	ANÁLISIS EN MEDIO ANAEROBIO					
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ					
	TM1	TM2	TM3	TM4	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
5	4,04	5,41	3,61	10,71	5,94	(33,2 – 40,4) % (Guamán, 2019, p. 44)
10	8,08	9,50	8,43	15,18	13,09	
15	15,15	18,92	15,66	19,64	17,34	
20	19,19	25,68	21,69	24,11	27,33	
25	25,25	28,38	25,3	28,57	32,60	
30	44,44	45,95	38,55	37,5	41,61	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, M: Maíz.

**Tabla 34-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio aerobio.

N° DÍAS	ANÁLISIS EN MEDIO AEROBIO					
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ					
	TM1	TM2	TM3	TM4	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
5	3,70	8,33	9,09	9,09	7,55	(33,2 – 40,4) % (Guamán, 2019, p. 44)
10	8,64	12,03	12,12	11,81	11,15	
15	12,34	14,81	16,67	13,64	14,37	
20	16,04	17,59	22,73	18,18	18,64	
25	19,75	21,30	28,79	21,82	22,91	
30	27,16	25,93	39,39	27,27	39,92	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, M: Maíz.

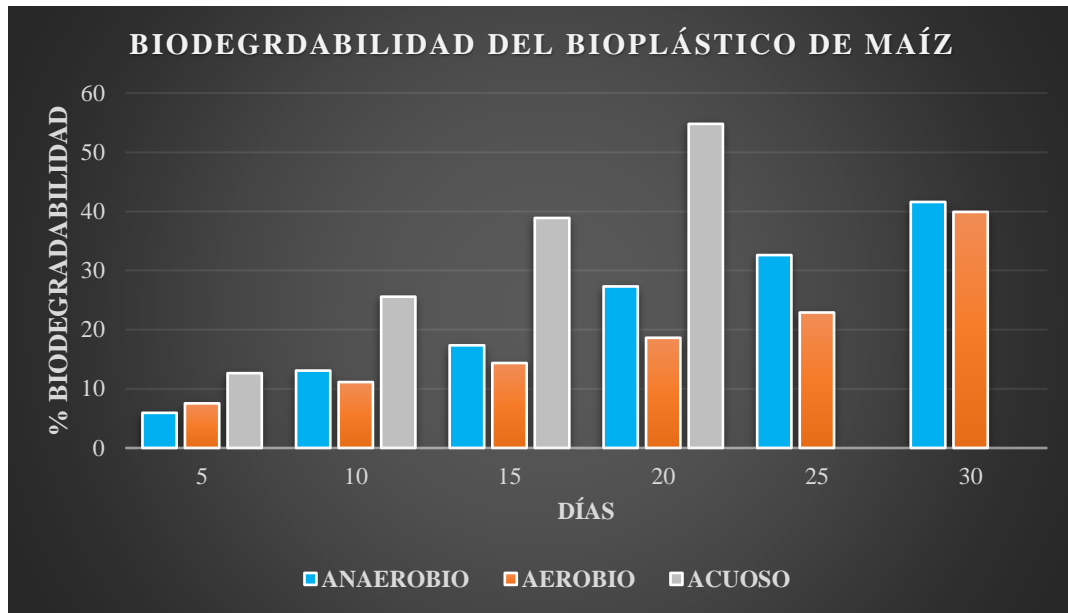
**Tabla 35-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de maíz en medio acuoso.

N° DÍAS	BIODEGRADABILIDAD EN MEDIO ACUOSO					
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE MAÍZ					
	TM1	TM2	TM3	TM4	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
5	10,11	13,51	14,93	12,05	12,65	(50,6 - 64,21) % (Meza et al., 2019, p. 77)
10	21,35	27,03	29,85	24,10	25,58	
15	32,58	40,54	46,27	36,14	38,88	
20	49,44	56,76	61,20	51,80	54,80	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, M: Maíz.

A continuación en el **Gráfico 7-3**, se muestra la comparación de los resultados de biodegradabilidad del bioplástico de maíz en medio anaerobio, aerobio y medio acuoso. Se puede apreciar que la degradación en medio acuoso fue bastante exitosa a comparación de los otros 2 métodos, tomando en cuenta que este análisis se efectuó en menos tiempo.



**Gráfico 7-3:** Comparación de los Resultados de Biodegradabilidad del Bioplástico de Maíz.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

Seguidamente se puede visualizar los resultados de biodegradabilidad de los bioplásticos de quinua tanto en medio anaerobio, aerobio como acuoso. Se consideró los mismos límites de referencia que se emplearon para las láminas de maíz.

**Tabla 36-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio anaerobio.

N° DÍAS	ANÁLISIS EN MEDIO ANAEROBIO					LÍMITES DE REFERENCIA
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA					
	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4	PROMEDIO	
5	6,25	8,00	5,88	3,92	6,01	(21,66 – 50) % (Guamán, 2019, p. 44)
10	11,46	13,33	11,76	7,84	11,10	
15	18,75	22,67	18,82	13,73	18,49	
20	27,08	34,67	29,41	21,57	28,18	
25	33,33	46,67	37,65	29,41	36,77	
30	39,58	61,33	51,76	40,20	48,22	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, Q: Quinua.

**Tabla 37-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio aerobio.

N° DÍAS	ANÁLISIS EN MEDIO AEROBIO					
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA					
	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
5	5,66	5,92	6,94	6,98	6,38	(33,2 – 40,4) % (Guamán, 2019, p. 44)
10	11,32	10,71	13,89	12,79	12,18	
15	16,04	16,67	20,83	19,77	18,32	
20	24,53	22,62	27,78	25,58	25,12	
25	28,30	28,57	34,72	31,40	36,48	
30	33,02	34,52	44,44	38,37	37,59	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, Q: Quinua.

**Tabla 38-3.** Resultados de la pérdida de peso del bioplástico de quinua en medio acuoso.

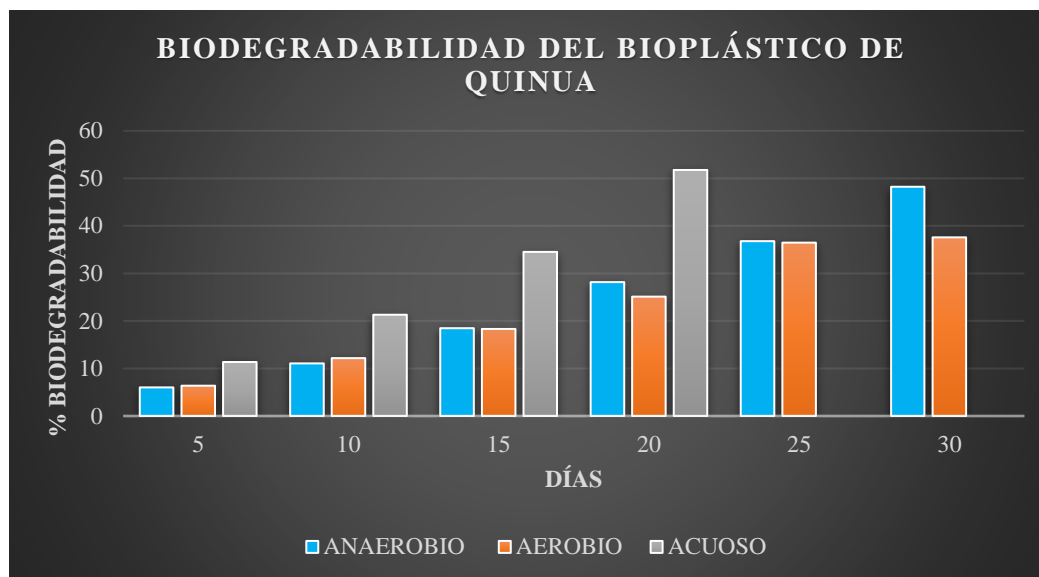
N° DÍAS	BIODEGRADABILIDAD EN MEDIO ACUOSO					
	% PÉRDIDA DE PESO DEL BIOPLÁSTICO DE QUINUA					
	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4	PROMEDIO	LÍMITES DE REFERENCIA
5	12,20	11,90	11,24	10,10	11,36	(50,6 - 64,21) % (Meza et al., 2019, p. 77)
10	26,83	17,86	21,35	19,19	21,31	
15	40,24	30,95	32,58	34,34	34,53	
20	57,32	52,38	43,82	53,54	51,77	

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

\* T1, T2, T3 y T4: Tratamientos, Q: Quinua.

En el **Gráfico 8-3**, se observa la comparación de resultados de la biodegradabilidad del bioplástico de quinua durante 30 días en medio anaerobio y aerobio. Así mismo en medio acuoso en un tiempo de 20 días, siendo uno de los métodos más efectivos para la descomposición de los biopolímeros.





**Gráfico 8-3:** Comparación de los Resultados de Biodegradabilidad del Bioplástico de Quinua.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

### 3.5 Prueba de Hipótesis

#### 3.5.1 Hipótesis 1

*El almidón de maíz y quinua permite la formación de películas biodegradables con similares características a las envolturas sintéticas para conservación de alimentos.*

El almidón de maíz está formado de 21,23 % de amilosa y 78,77 % de amilopectina. En cambio, el de quinua está constituida de 20,09 % de amilosa y 79,91 % de amilopectina. Según Acosta et al., (2018, p. 11), establece en su investigación que la amilosa es el componente principal para la formación de biopelículas gracias a sus propiedades de gelificación y moldeo que proporciona al momento de la combinación con los plastificantes. Por otro lado, Enríquez et al.,(2012, p. 184) consideró que, mientras mayor sea la cantidad de amilopectina, mayor cristalinidad tendrán los bioplásticos obtenidos a base de almidón.

Es por ello, que en base al diseño factorial  $2^k$  se realizaron 4 tratamientos con 16 pruebas preliminares para la elaboración de los bioplásticos, los cuales son expuestos en la **Tabla 11-3** para el maíz y **Tabla 12-3** para la quinua. Así pues, mediante el análisis sensorial realizado al bioplástico de maíz y

quinua se pudo verificar que los tratamientos **TM3** y **TQ1** fueron los que sobresalieron debido a las buenas características físico-químicas y mecánicas que presentaron.

Por otro lado, el rendimiento de los almidones fue evaluado en base al análisis estadístico de varianza ANOVA, para ello, se utilizó el programa Statgraphics Centurion XVI, cuyos resultados son expresados en la **Tabla 5-3**, para el maíz y **Tabla 7-3**, para la quinua. Considerando que, al ser mínima la significancia estadística entre los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis Nula** ( $H_0$ ): No existe diferencia significativa entre la obtención de los almidones y las velocidades de trituración aplicada a cada tratamiento.
- **Hipótesis Alternativa** ( $H_i$ ): Si existen diferencias significativas entre la obtención de los almidones y las velocidades de trituración aplicada a cada tratamiento.

En base a la prueba t-Student se pudo comparar el valor de probabilidad de interacción con el valor de error utilizado ( $P:0,05$ ), donde si el valor-P es menor al error existe diferencias significativas y si el valor-P es mayor al error no existe diferencias significativas. Por lo tanto, como el valor-P obtenido es menor al error. Se pudo concluir que si existen diferencias significativas en cada uno de los rendimientos de los almidones que permiten la formación de películas biodegradables, por esta razón, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa según lo mencionado por Turcios (2015, pp. 59-61).

De tal forma que, el almidón de maíz y quinua si permite la formación de películas biodegradables aptas para remplazar a las envolturas sintéticas, dado que, hoy en día las industrias alimenticias buscan usar empaques amigables con medio ambiente, ya que estos son desechados con facilidad en el medio, causando daños irreparables al mismo. Por este motivo, hoy por hoy los bioplásticos se convierten en una ventaja competitiva para las empresas del plástico tradicional puesto que, aparte de ser ecológicos resultan ser muy económicos.

### 3.5.2 Hipótesis 2

*El almidón extraído del maíz y quinua cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 1456 para la elaboración del bioplástico.*

Una vez encontrado y efectuado el método adecuado para la extracción de cada uno de los almidones, se procedió a realizar su caracterización con base en la norma NTE INEN 1456 y la Guía Técnica de la FAO. Los resultados de los análisis del almidón de maíz se muestran en la **Tabla 9-3**, en cambio de la quinua se indican en la **Tabla 10-3**. Al comparar los valores obtenidos con los referenciales, se puede verificar que los resultados de la investigación se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma NTE INEN 1456 y la guía técnica de la FAO. Finalmente, tanto el almidón de maíz como de quinua cumplen con todos los requisitos de calidad para la producción de películas biodegradables.

### 3.5.3 Hipótesis 3

*El bioplástico elaborado a partir del almidón del maíz y quinua tiene adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.*

Los bioplásticos obtenidos de maíz y quinua fueron sometidos a varios ensayos físico-químicos y mecánicos, con el propósito de comparar sus características con los plásticos convencionales. De modo que, mediante el análisis sensorial realizado a los biopolímeros, se determinó que los tratamientos **TM3** del maíz y **TQ1** de la quinua son los que se destacaron ante los demás por presentar las mejores propiedades físico-químicas y mecánicas y poder así reemplazar a las envolturas sintéticas.

Por consiguiente, los resultados conseguidos en los ensayos de espesor y propiedades mecánicas se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma NTE INEN 2635, de modo que, los resultados de los espesores de las láminas de maíz se indican en la **Tabla 15-3**. Mientras que, para las biopelículas de quinua se observan en la **Tabla 16-3**, resaltando también que la norma establece un espesor máximo de 1,0 mm. En cambio, en la **Tabla 23-3**, se tiene los resultados del ensayo de tracción de los 2 tipos de plásticos, en el cual se pudo analizar que su módulo de elasticidad, esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y elongación máxima se hallan dentro de los límites establecidos por Trujillo (2014, pp. 93-106). Por otro lado, las probetas que prevalecieron en el análisis fueron la **N° 3** para el maíz y la **N° 1** para la quinua.

Con respecto a los resultados del ensayo de solubilidad, un estudio establecido por Trujillo (2014, pp. 75-76) determina que los valores de referencia oscilan entre 14,84 - 60,96% y al comparar con los resultados de la investigación, se tiene que los datos obtenidos son equivalentes a los mencionados, considerando que la aplicación de los bioplásticos es conservar los alimentos en condiciones adecuadas.

En cuanto con el ensayo de humedad y permeabilidad de vapor estos arrojaron datos completamente favorables, consiguiendo que los bioplásticos obtenidos cumplan con las mismas características que los plásticos comunes con la diferencia que estos son amigables para el medio ambiente.

#### **3.5.4 Hipótesis 4**

*El bioplástico obtenido se degrada en menor tiempo que los plásticos convencionales y son una alternativa ecológica en la industria de alimentos.*

El ensayo de biodegradabilidad de los bioplásticos de maíz y quinua se llevó a cabo en condiciones anaerobias, aerobias y en medio acuoso. Con la finalidad de comprobar su tiempo de descomposición las películas fueron expuestas a un periodo de prueba de 30 y 20 días respectivamente.

Los resultados de biodegradabilidad de los biopolímeros de maíz fueron bastante favorables y se encuentran expresados en la **Tabla 33-3**, para el medio anaerobio y en medio aerobio se indican en la **Tabla 34-3**. Mientras que, en la **Tabla 35-3** se puede observar los resultados del análisis en medio acuoso los cuales fueron bastante eficientes logrando una pérdida de masa de 41,61 % en tan solo 20 días.

Del mismo modo en la **Tabla 36-3**, **Tabla 37-3** y **Tabla 38-3** se indican los resultados de biodegradabilidad del bioplástico de quinua tanto en medio anaerobio, aerobio como acuoso. En donde, al comparar con los datos del biopolímero de maíz se puede observar que de igual manera el análisis en medio acuoso resultó ser más rápido y efectivo consiguiendo un porcentaje de pérdida de masa de 54,8 % en un tiempo de prueba de 20 días.

La norma EN 13432 de envases y embalajes biodegradables establece que un biopolímero debe degradarse como mínimo el 90 % de su estructura física durante 6 meses. Al comparar los resultados obtenidos de biodegradabilidad en medio anaerobio, aerobio y acuoso de las películas de maíz y

quinua se puede observar que sus datos oscilan de **(35 – 55) %** durante un tiempo de 20 y 30 días, es decir sus valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma.

Por otro lado, dado que el almidón se ha convertido en uno de los polímero con alto potencial de utilización para la producción de materiales biodegradables, hoy en día, las industrias alimenticias son beneficiadas al encontrar dentro del mercado productos innovadores y altamente amigables con el medio ambiente tales como los bioplásticos, que tienen como objetivo disminuir el índice de contaminación ambiental causado por el alto consumo de plásticos tradicionales que tardan hasta 500 años en descomponerse según lo mencionado por Acosta et al.,(2018, pp. 1-3).

### **3.6 Discusión**

#### ***3.6.1 Análisis de resultados de la caracterización física de las semillas de maíz y quinua.***

En primera instancia se procedió a realizar la caracterización física de las semillas de maíz y quinua, consiguiendo un diámetro de 5,39  $\mu\text{m}$  para el maíz y 2,18  $\mu\text{m}$  de la quinua. Así también, sus longitudes oscilaron entre (7,03 y 2,18) mm respectivamente. Este proceso se llevó a cabo con el fin de seleccionar materia prima de calidad que cumpla con los parámetros de inclusión establecidos, y así realizar un favorable proceso en la extracción de los almidones. Según Benítez (2008, p. 8), establece que el endospermo de las semillas de maíz están compuestas del 90 % de almidón y el tamaño de sus gránulos oscilan de (1-10)  $\mu\text{m}$ . En cambio, Arzapalo y Huaman (2014: pp. 77-78), en su estudio manifiesta que las semillas de quinua están constituidas del 55 % de almidón y se encuentran presentes en sus gránulos, cuya forma es pequeña de aproximadamente 1,5  $\mu\text{m}$  de diámetro.

#### ***3.6.2 Análisis de la caracterización físico química del almidón de maíz y quinua.***

##### ***3.6.2.1 Análisis de resultados de los métodos de extracción de los almidones.***

La extracción del almidón de maíz se efectuó por vía húmeda, mientras que la extracción del almidón de quinua se realizó por vía seca. Utilizando el diseño factorial  $2^k$  se ejecutaron 6 tratamientos con 24

formulaciones respectivamente, resultados que se muestran en la **Tabla 3-3** para el maíz y en la **Tabla 4-3** para la quinua. El tratamiento que presentó mayor rendimiento para el maíz fue el **TM5** con un valor aproximado de 14,81 %, consiguiendo un porcentaje superior al de 5,72 % obtenido por Riera (2020, p. 7), tomando en cuenta que se utilizó el mismo método de extracción. Por otro lado, el tratamiento seleccionado para la quinua fue el **TQ3** con 12,01 % siendo un valor inferior a lo reportado por Quinto et al., (2015, p. 48) ya que sus valores oscilan entre (18,95-30,62) % dependiendo de la clase de quinua utilizada.

#### *3.6.2.2 Análisis de los resultados de la composición química del almidón de maíz y quinua.*

El contenido de amilosa y amilopectina fueron realizados en el Laboratorio INIAP, los cuales dieron como resultado **(21,23 – 78,77) %** para el maíz y **(20,09 – 79,91) %** de la quinua respectivamente. Los resultados obtenidos fueron muy favorables, debido a que se encuentran dentro los límites establecidos por otras investigaciones, como es el caso de Urango (2018, p. 193) quién reportó en su estudio, un contenido de amilosa de (20 – 30) % y de amilopectina del (70 -80) % dependiendo del tipo de maíz utilizado para la extracción. En el caso de la quinua el contenido de amilosa que describe Huamani et al., (2020, p. 382) puede oscilar entre (4 – 25) % y el de amilopectina (75 - 96) %, quien empleó diferentes métodos de extracción dependiendo de la variedad de quinua usada, por lo tanto, a mayor contenido de amilosa menor concentración de almidón se utilizará en la elaboración de los bioplásticos.

Los análisis para la caracterización del almidón de maíz y quinua se efectuaron en base a la norma NTE INEN 1456 y a la Guía Técnica para Producción y Análisis del Almidón de Yuca. Los resultados para el almidón de maíz se muestran en la **Tabla 9-3**, mientras que, para el almidón de quinua se indican en la **Tabla 10-3**, donde se puede establecer que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma y la guía técnica FAO, recalando que la materia prima obtenida cumple con todos los requisitos de calidad establecida.

#### *3.6.3 Análisis de resultados de la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua.*

### *3.6.3.1 Análisis sensorial*

Para la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de maíz y quinua, se realizó un análisis sensorial, resultados que se observan el **Gráfico 5-3** para el maíz y **Gráfico 6-3** para la quinua. En éstos se indica la puntuación final para cada uno de los tratamientos realizados a los diferentes bioplásticos, observando que los tratamientos **TM3** y **TQ1** fueron los que sobresalieron ante los demás, en vista de que, una investigación realizada por Tubón (2013, pp. 42-43), reporta que las características físicas que deben mostrar los biopolímeros para el uso de envolturas alimenticias son primordialmente: buena flexibilidad, firmeza, textura lisa y una adecuada presentación. Por otro lado, en el tratamiento **TM3** se utilizaron concentraciones de almidón de **2,5 g** y **2 ml** de glicerina, mientras que, para el tratamiento **TQ1** se usó **2 g** de almidón y **2 ml** de glicerina, siendo mínima la diferencia de concentración de almidón, permitiendo así la formación de las mejores biopelículas.

### *3.6.3.2 Espesor*

De acuerdo con Trujillo (2014, p.80), el espesor de las láminas biodegradables depende principalmente de la cantidad de plastificante empleado en cada plástico y sus valores oscilan entre (0,07 – 0,11) mm. De tal forma que, los resultados obtenidos de los bioplásticos de maíz y quinua se detallan en la **Tabla 15-3** y **Tabla 16-3**, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos. A pesar de que, la norma NTE INEN 2542, admite como máximo un espesor de 0,2 mm.

### *3.6.3.3 Humedad*

El porcentaje de humedad se debe a la cantidad de plastificante empleado en cada lámina, los resultados obtenidos de este ensayo se indican en la **Tabla 17-3**. Resultados que se encuentran dentro del rango mencionado por Guamán (2019, p. 41). Por otro lado, un estudio realizado por Trujillo (2014, p. 69), establece como máximo un porcentaje de humedad entre **42,34 %** y **60,54 %**, ya que si sobrepasa los límites establecidos, el crecimiento de flora bacteriana tiende a aumentar rápidamente debido a la cantidad de humedad, afectando también a las propiedades mecánicas.

#### 3.6.3.4 Solubilidad

En cuanto al ensayo de solubilidad los resultados fueron muy ventajosos y se describen en la **Tabla 18-3** tanto para el bioplástico de maíz como de quinua, dado que, si una película es muy soluble, esta es utilizada como una cubierta comestible o para recubrimiento de pastillas. Es así que, Trujillo (2014, pp. 75-76), menciona que los bioplásticos que tengan un rango de solubilidad entre **(14,84 – 60,96) %**, pueden ser usados como envolturas alimenticias, y uno de los valores más óptimos de solubilidad es 20,54 % con la finalidad de conservar a los alimentos en condiciones adecuadas.

#### 3.6.3.5 Ensayo de permeabilidad de vapor

Una de las propiedades más importantes de las envolturas alimenticias es la de disminuir o evitar la transferencia de humedad entre el alimento y el vapor de agua circundante. Conforme con Trujillo (2014, pp. 82-87), la permeabilidad de vapor de agua debe oscilar entre  $(0,03 – 0,374) \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$ , teniendo en cuenta que, el principal factor que afecta a la permeabilidad de vapor de agua es la cantidad de plastificantes utilizados en las láminas. En la **Tabla 22-3**, se muestran los resultados obtenidos tanto para los bioplásticos de maíz como de quinua los cuales se encuentran dentro del rango reportado por Trujillo (2014, pp. 82-87), considerando que mientras más baja sea la permeabilidad de vapor de agua mejor es la película.

#### 3.6.3.6 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizó en base a la norma NTE INEN 2635, en la **Tabla 23-3** se detallan los resultados obtenidos, donde las probetas que resaltaron durante el análisis fueron la **N° 3** para el maíz y la **N° 1** para la quinua, debido a que presentaron las mejores propiedades mecánicas. Según Trujillo (2014, pp. 93-106), reportó en su estudio que el módulo de elasticidad permitido corresponde a un rango entre  $(0,1710 – 211,638) \text{ Mpa}$ , el esfuerzo máximo  $(0,50 – 25,6) \text{ Mpa}$ , el esfuerzo de fluencia  $(0,171 – 7,761) \text{ Mpa}$  y la elongación máxima es de  $(20,7 – 121) \%$ , al comparar los datos se puede verificar que los valores obtenidos en la presente investigación, se encontraron dentro del rango establecido por dicho autor. En vista de que los bioplásticos presentaron buenas propiedades mecánicas, éstas pueden sustituir completamente a las envolturas plásticas tradicionales.



### 3.6.3.7 Análisis microbiológico

Por otro lado, a los bioplásticos sintetizados se les efectuaron pruebas microbiológicas, con la finalidad de comprobar si existe la presencia de microorganismos patógenos, en la **Tabla 24-3**, se indican los datos generados los cuales resultaron ser totalmente favorables, observando que las láminas se encontraban íntegramente estériles es decir, el producto fue elaborado bajo condiciones adecuadas de higiene que cumplen con las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), lo que garantiza que los bioplásticos producidos son aptos para ser utilizados como envoltura de alimentos o en distintas aplicaciones industriales. Tubón (2013, p. 59) menciona que, una biopelícula que cumpla con todos los requisitos de calidad e higiene pueden ser usados como láminas comestibles demostrando seguridad en el bienestar del consumidor.

### 3.6.4 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad del bioplástico de maíz se encuentra representada en el **Gráfico 7-3**, en el cual, se puede apreciar como se descomponen las películas obtenidas con el pasar del tiempo, los cuales fueron expuestos a diferentes condiciones de análisis. Del mismo modo, en el **Gráfico 8-3**, se observa los porcentajes de pérdida de masa de las biopelículas de quinua.

Este ensayo fue evaluado en medio anaerobio, aerobio y en medio acuoso. Es así que, durante su periodo de prueba las láminas se degradaron casi el 50 % en 20 y 30 días respectivamente, cumpliendo así con lo establecido por la norma EN 13432 donde menciona que un material compostable debe descomponerse como mínimo el 90 % de su estructura física durante 6 meses. Por otro lado, Riera (2020, p. 9) obtuvo un porcentaje de biodegradación de 89,40 % en 42 días, siendo resultados muy favorables ya que estos nuevos productos ayudan a disminuir el impacto ambiental generado por los plásticos comunes. Mientras que, una investigación realizada por Meza et al., (2019, p. 77), reportó datos de biodegradabilidad que oscilan entre (50,6 – 64,21) % utilizando el análisis en medio acuoso con un tiempo aproximado de 60 días, relacionando los valores obtenidos con el estudio mencionado, se puede evidenciar que los bioplásticos de maíz y quinua son completamente biodegradables capaces de descomponerse en cualquier medio.

### **3.6.5 Aplicación**

Actualmente los bioplásticos producidos a base de fuentes renovables son utilizados por varias industrias tales como alimenticias, farmacéuticas, textiles, cosméticas, entre otras. Debido a que estos nuevos productos son más económicos en comparación a los plásticos convencionales. Por lo tanto, grandes y pequeñas empresas están optando por sustituir a los empaques sintéticos por materiales completamente biodegradables. (Gómez y Yory, 2018: p. 72)

De acuerdo con Rivera et al., (2019, p. 2), menciona en su investigación que la empresa COCA COLA invirtió más de 10 millones de dólares en una campaña enfocada al bienestar sostenible, es decir en la producción de un nuevo envase verde 100% reciclable, constituida con un 30 % de componentes naturales. Por otro lado, la empresa BURGER KING ha cambiado las envolturas tradicionales por empaques que sean amigables con el medio ambiente tanto para la distribución como venta de sus productos alimenticios.

Una de las nuevas tendencias que existe hoy en día, es el crecimiento de la conciencia ambiental por parte de los consumidores por tal razón, las industrias alimenticias se ven en la necesidad de utilizar envolturas totalmente biodegradables con la finalidad de disminuir la huella ecológica. Rivera et al., (2019, p. 1)

En virtud de ello, gracias a las óptimas propiedades físico-químicas y mecánicas que presentaron las biopelículas de maíz y quinua, se realizaron pruebas piloto con el propósito de comprobar si las láminas obtenidas cumplen con las mismas funciones que las envolturas tradicionales. Para esto, se procedió a colocar legumbres y frutas frescas en platos desechables, luego se cubrió totalmente a los platos con las películas elaboradas, con el objetivo de proteger y alargar la vida útil de los alimentos. Esta prueba fue evaluada durante 3 días en el cual, se tomaron a consideración las siguientes características: estado de los alimentos y apariencia que tomaron las envolturas biodegradables durante el tiempo de prueba debido a que fueron expuestos a temperatura ambiente.

Los resultados generados de las pruebas piloto ejecutadas tanto a las láminas de maíz como a las de quinua fueron bastante satisfactorios ya que, cumplieron con las mismas funciones que las envolturas sintéticas es decir de alargar y proteger la vida útil de los alimentos principalmente de microorganismos externos, garantizando así la calidad de los productos y el bienestar de los consumidores. Por tal razón, se convierten en una interesante alternativa de sustitución de los plásticos tradicionales.

A continuación, en la **Figura 5-3**, se puede observar la prueba piloto que se realizó al biopolímero de maíz, el cual se pudo verificar que las películas obtenidas cumplieron con el mismo objetivo que las envolturas tradicionales, es decir, mantener frescos y en buen estado a los alimentos, considerando que estas láminas son completamente amigables con el medio ambiente. Así también en la **Figura 6-3**, se indica la prueba piloto ejecutada al bioplástico de quinua:



**Figura 5-3:** Prototipo del bioplástico de maíz utilizado como envoltura para alimentos.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.



**Figura 6-3:** Prototipo del bioplástico de quinua utilizado como envoltura para alimentos.

Realizado por: Ledesma, Alexandra, 2021.

## CONCLUSIONES

- Mediante el diseño factorial  $2^k$  se pudo conocer el procedimiento adecuado para la obtención de los bioplásticos de maíz (*Zea mays L*) y quinua (*Chenopodium quinoa*), obteniendo los mejores resultados con los tratamientos **TM3** para el maíz y **TQ1** para la quinua, cuyas formulaciones son (2,5 y 2) g de almidón, y (35 y 25) mL de agua respectivamente, manteniendo constante las cantidades de glicerina (2 mL) y ácido acético (4 mL). Así también, los tratamientos mencionados fueron los que se destacaron en la caracterización físico-química y mecánica de las biopelículas, en cambio, el análisis de biodegradabilidad en medio acuoso resultó ser más eficiente, debido a que las películas se degradaron en un 50 % de su estructura física en tan solo 20 días, consiguiendo así láminas completamente biodegradables capaces de reemplazar a las envolturas alimenticias sintéticas.
- Se caracterizó el almidón de maíz y quinua considerando los requisitos de la norma NTE INEN 1456, obteniendo resultados satisfactorios, amilosa (21,23 y 20,09) %, azúcares totales (0,23 y 3,95) %, ceniza (0,93 y 1,08) %, humedad (12,74 y 11,40) %, pH (5,42 y 4,53) y temperatura de gelatinización (64,33 y 64,00) °C respectivamente. En cuanto, a la prueba de solubilidad ambos tipos de almidones presentaron una ligera opalescencia y la prueba de sensibilidad permitió demostrar la presencia de almidón en las muestras extraídas con un rendimiento de 14,81% para el maíz y de 12,01% para la quinua. Concluyendo así que todos los valores de caracterización de los bioplásticos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma.
- La calidad de los bioplásticos de maíz y quinua se determinó mediante análisis físico-químicos y mecánicos de sus propiedades, destacando los tratamientos TM3 del maíz y TQ1 para la quinua, obteniendo resultados muy satisfactorios, como son el porcentaje de humedad (37,63 y 30,02) %, solubilidad de (19,38 y 18,02) % y permeabilidad de vapor de agua (0,037 y 0,023)  $g \cdot h^{-1} \cdot m^1 \cdot MPa^{-1}$  respectivamente. En cuanto, a sus espesores los datos fueron (0,20 y 0,15) mm hallándose dentro de los rangos permitidos por la norma NTE INEN 2542. Acerca de las pruebas mecánicas estas resultaron muy favorables debido a que todos los valores obtenidos se encontraron dentro de los límites establecidos por Trujillo (2014, pp. 93-

108); consiguiendo un módulo de elasticidad de (2,44 y 1,57) Mpa, un esfuerzo máximo (0,64 y 0,40) Mpa, un esfuerzo de fluencia de (0,61 y 0,37) Mpa y una elongación máxima de (33,78 y 29,18) % para el maíz y la quinua. Por otro lado, debido a que su finalidad es su utilización como envolturas de alimentos, se realizaron pruebas microbiológicas, encontrándose los bioplásticos libres de microorganismos patógenos.

- La biodegradabilidad de los bioplásticos se valoró en base a la norma EN 13432, observando a las láminas descomponerse casi el 40% de su estructura física durante 30 días en medio anaerobio y aerobio cumpliendo con el plazo establecido por la norma. Sin embargo, se considera que la descomposición en medio acuoso fue más eficiente, ya que las láminas se degradaron en un 50 % en tan solo 20 días. A fin de comprobar su utilidad como envolturas alimenticias se realizaron pruebas piloto del uso de los bioplásticos de maíz y quinua como envoltura de alimentos. Concluyendo que las biopelículas obtenidas cumplen con las mismas funciones que las envolturas sintéticas; proteger y alargar la vida útil de los alimentos, garantizando el bienestar de los consumidores. Así pues, debido a que estos biopolímeros son completamente amigables con el medio ambiente, se concluye que es una alternativa como envolturas en la industria alimenticia debido a que permitirá disminuir el impacto ambiental generado por los plásticos comunes.

## RECOMENDACIONES

- Es importante seleccionar la materia prima en base a los criterios de inclusión para la obtención de bioplásticos de calidad que cumplan con las normas específicas, pues la amilosa es el principal constituyente del almidón y el encargado de la gelificación y formación de las láminas biodegradables. Así pues, si la presencia de este polisacárido es muy baja, es recomendable aplicar mecanismos de reacciones químicas utilizando distintos catalizadores, generalmente los almidones utilizados a nivel industrial son modificados por reacciones de esterificación con métodos de intensas mezclas.
- Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las láminas biodegradables, es recomendable utilizar cantidades adecuadas del plastificante a emplear, ya que depende mucho de este compuesto para generar bioplásticos de calidad que cumplan con las mismas características que las envolturas sintéticas.
- En base a varias investigaciones enfocadas a la obtención de bioplásticos a partir de recursos renovables como el almidón, se ha determinado que la fibra generada puede ser utilizada para la producción de nuevos productos dietéticos, que sean bajos en carbohidratos, de tal manera que se recomienda el uso de este producto en investigaciones anexas.
- Incentivar a pequeñas empresas en la producción de biopolímeros generados a partir de recursos renovables, debido a la facilidad de elaboración y sobre todo a las grandes ventajas ambientales y económicas que estos brindan frente a los plásticos tradicionales.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar un análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC), con la finalidad de comprobar y mejorar la calidad de los bioplásticos obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABARCA, Edison.** Caracterización Agro-Morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo [en línea]. Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería de Agronómica. Riobamba, Ecuador. 2014. pp. 15-90 Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3455/1/13T0793 .pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3455/1/13T0793.pdf).

**ACOSTA, et al.** "Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico". *Bionatura* [en línea], 2018, vol. 1, no. Bionatura Conference Serie, pp. 1-18. ISSN 13909347. DOI 10.21931/rb/cs/2018.01.01.2. Disponible en: <http://revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>.

**ACOSTA, Rosa.** "El Cultivo Del Maíz, Su Origen y Clasificación. El maíz en Cuba". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2009, vol. 30, no. 2, pp. 113-120. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000200016](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016).

**ALMEIDA, Alejandra et al.** "Bioplásticos: una alternativa ecológica". *Revista Química Viva* [en línea], 2004 vol. 3, no. 3, pp. 122-133. Disponible en: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v3n3/pettinari.pdf>.

**APAZA, Vidal et al.** *Catálogo de Variedades Comerciales de Quinoa en Perú*. Lima-Perú: s.n. ISBN 978-92-5-108765-7, pp. 5-86.

**ARZAPALO, Doyla, & HUAMAN, Katty.** Extracción y caracterización de almidón de tres variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Negra Collana, Pasankalla Roja y Blanca de Junín. [en línea], (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Facultad de Ciencias Aplicadas, Escuela de Ingeniería Industrial. Tarma-Perú. 2014. pp. 20-278. Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1933/Arzapalo\\_Quinto\\_-\\_Huaman\\_Condor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1933/Arzapalo_Quinto_-_Huaman_Condor.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**BALLESTEROS, Laura.** Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo [en línea], Universidad de San Buenaventura Cartagena. Escuela de Ingeniería Química. 2014. pp. 1-22 Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/c977/860310d826dc20741c8cb9c7e17559b79a89.pdf>.

**BENÍTEZ, Tomas.** Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz ( *Zea mays* L ) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. [en línea]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Licenciatura en Química en Alimentos. 2008. pp. 2-75. Disponible en: [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion morfologica y termica almidon de maiz.pdf?sequence=1](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion_morfologica_y_termica_almidon_de_maiz.pdf?sequence=1).

**CASTAÑEDA SANCHEZ, A.** "Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.)" . *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* [en línea], 2011, vol. 5, pp. 75-83. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5\(2\)-Castaneda-Sanchez-2011.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5(2)-Castaneda-Sanchez-2011.pdf)

**CASTILLO, Ruth et al.** "Bioplástico a base de la cáscara del plátano". *Revista de Iniciación Científica* [en línea], 2015, vol. 1, pp. 34-37. ISSN 2412-0464. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/339>.

**CHARRO, Mónica.** Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. [en línea]. Universidad Central Del Ecuador. Tesis de Grado para la obtención del Título de Ingeniera Química. Carrera de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2015. pp. 1-91. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>.

**CHUQUIMARCA, José.** Evaluación de la adaptación y rendimiento de diez líneas de quinua (*Chenopodium quinoa* W), en la parroquia calpi cantón Riobamba provincia de Chimborazo. [en línea]. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 1-72 Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10731/1/13T0874.pdf>.

**DERAS, Héctor.** "Guia Tecnica, El Cultivo Del Maiz". *Redsicta*. [en línea], 2012, vol. 1, pp. 40. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>.

**ENRÍQUEZ, Mario et al.** "Composición y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas en Almidón". *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2012, vol. 10, no. 1, pp. 182-192. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.

**ESCOBAR, D et al.** "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". *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay* [en línea], 2011, vol. 0, no. 4, pp. 33-36. ISSN 1688-6593. Disponible en: <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTECH/article/view/51>.



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

**FUENTES, Henry & MENDOZA, Humbolt.** Estudio Comparativo Del Contenido De Polifenoles Totales Y Actividad Antioxidante En Quinoa Roja, Negra Y Amarilla (*Chenopodium quinoa* Willdenow) Cultivada En Ecuador [en línea], Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas. Guayaquil, Ecuador. 2019. pp.1-79. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45374>.

**GARCÍA, Alma.** Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz [en línea], Escuela Especializada en Ingeniería. El Salvador, Sede Central Santa Tecla. 2015. pp. 1-52 Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>.

**GÓMEZ, José et al.** *Bioplásticos* [en línea], 2007. Researchgate, 2007. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257652567\\_BIOPLASTICOS](https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS).

**GÓMEZ, Sandra; & YORY, Fabián.** "Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales". *Ingenierías USBMed* [en línea], 2018, vol. 9, no. 1, pp. 69-74. ISSN 2027-5846. DOI 10.21500/20275846.3008. Disponible en: <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/3008/2781>.

**GRANDE, Tovar; & OROZCO, Beto.** "Producción y procesamiento del maíz en Colombia". *Revista Guillermo de Ockham*, [en línea], 2015, vol. 11, no. 1, pp. 97-110. ISSN 1794-192X. DOI 10.21500/22563202.604.

**GREENPEACE INTERNACIONAL, 2019.** El plásticos ha inundado nuestra vida diaria. *Greenpeace* [en línea]. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>.

**GUAMÁN, Jenny.** Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial [en línea], Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. 2019. pp. 1-88. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>.

**HUAMANI, Alberto et al.** "Optimización del proceso de cocción de quinoa utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de geletizacion, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de coliledones". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2010, vol. 11, no. 3, pp. 381-390. ISSN 23066741. DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.03.10. Disponible en:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n3/2077-9917-agro-11-03-381.pdf>.

**IGUARDIA, Carlos.** Síntesis y caracterización de bioplástico a partir del almidón de banano verde ( *Musa sapientum* variedad Cavendish) [en línea], Universidad De San Carlos De Guatemala, Tesis de grado para la obtención del Título de Químico Farmacéutico, Escuela de Ciencias Químicas y Farmacia. 2013. pp. 1-121. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3523.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf).

**INEN 1456.** Norma Técnica Ecuatoriana Reactivos para Análisis de Almidón Soluble ( para iodometría). Métodos de Ensayo. [en línea], 2012. pp. 2-9. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1456.pdf>.

**INEN 2043.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2043 : 2013 Primera Revisión. Plásticos. Metodo de Ensayo para la determinación de las Propiedades de Tensión. [en línea], 2013. p.4. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2043-1.pdf>

**INEN 2542.** Instituto Ecuatoriano de Normalización [en línea], 2010. pp. 1-10. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2542.pdf>.

**INNOVATEC, 2016.** Bioplásticos y aceites esenciales vegetales son tendencia en la industria del envasado de alimentos. *Innovatec* [en línea]. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible en: <https://higieneambiental.com/higiene-alimentaria/bioplasticos-y-aceites-esenciales-vegetales-son-tendencia-en-la-industria-del-ensado-de-alimentos>.

**LITTERTHUB, M.** "Impacto del abandono del plástico en la naturaleza". *Ecoembes* [en línea], 2019. pp. 24. Disponible en: [https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-plásticos-abandonados\\_LIBERA-def-1.pdf](https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-plásticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf).

**LUNA, Gabriela et al.** "Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares". *DYNA (Colombia)* [en línea], 2009. vol. 76, no. 159, pp. 145-151. ISSN 00127353. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/13050/13744>.

**MEDINA, Andrea.** Quito desecha 277 toneladas de plástico al día. *El comercio* [en línea], mayo 2018. [Consulta: 17 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/desecho-diario-plástico-basura-quito.html>.

**MENOSCAL, Richard, & RODRIGUEZ, Elvin.** Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) [en línea], Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí “Manuel Félix López”, Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniero Ambiental, Carrera en Medio Ambiente. 2017. pp. 1-50. Disponible en:

<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>.

**MEZA, Paola et al.** "Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM* [en línea], 2019. vol. 22, pp. 67-80. Disponible en: [file:///C:/Users/user/Downloads/16691-Texto del artículo-58242-1-10-20190911 \(3\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/16691-Texto%20del%20artículo-58242-1-10-20190911%20(3).pdf).

**MOJO, Steven.** "Plásticos Biodegradables, ¿Qué son? y su relación con los RSU". *Revista El Empaque* [en línea], 2009. no. 25, pp. 1-8. Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/25.pdf>.

**MUJICA, Ángel.** "El origen de la quínoa y la historia de su domesticación". *Tierra Adentro INIA* [en línea], 2015. no. 108, pp. 14-17. Disponible en: <http://www.inia.cl/descarga/revista-tierra-adentro-especial-quinoa/>.

**NOTICIAS.** La ONU lucha por mantener los océanos limpios de plásticos. *Noticias ONU* [en línea]. 2017. pp. 1. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2017/05/1378771>.

**PIZÁ, Hamlet et al.** Análisis Experimental De La Elaboración De Bioplástico a Partir De La Cáscara De Plátano Para El Diseño De Una Línea De Producción Alterna Para Las Chifleras De Piura, Perú [en línea], Universidad De Piura, Facultad de Ingeniería. 2017. pp. 10-106. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Bioplastico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**PORRAS, Diana; & ARANA, Nathalia.** "Evaluación de las propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca". *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2014. vol. 12, no. 2, pp. 40-48. ISSN 0798-0477. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf>.

**POSTIGO, Raúl.** Análisis y uso de productos alternativos a base de maíz y cáscara de arroz para el proceso de envases biodegradables [en línea], Universidad Católica San Pablo, , Escuela Profesional de Ingeniería Industrial. 2019. pp. 1-62 Disponible en: [http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16023/1/POSTIGO\\_MARQUEZ\\_RAU\\_MAI.pdf](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16023/1/POSTIGO_MARQUEZ_RAU_MAI.pdf).

**QUINTO, Doyla et al.** "Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quínoa ( *Chenopodium quinoa* Willd ) negra collana, pasankalla roja y blanca junín". *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2015. vol. 81, no. 1, pp. 44-54. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000100006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000100006).

**RIERA, María Antonieta.** "Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.)". *Revista Colón Ciencias, Tecnología Y Negocios* [en línea], 2020. vol. 7, no. 1, pp. 1-11. Disponible en: [https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista\\_colon\\_ctn/article/view/1134](https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/1134).

**RIVERA, Cecilia et al.** "Los Empaques Biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los Consumidores". *Realidad Empresarial* [en línea], 2019. vol. 7, pp. 1-7. DOI <https://doi.org/10.5377/reuca.v0i7.7830>.

**RODRÍGUEZ, Ariel.** "Biodegradabilidad de materiales bioplásticos". *Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2012. vol. 22, no. 3, pp. 69-72. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328676031\\_Biodegradabilidad\\_de\\_materiales\\_bioplasticos](https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos).

**RODRIGUEZ, Joana; & ORREGO, Lady.** "Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica". *Revista Científica* [en línea], 2016. no. 0124 2253, pp. 1-13. DOI [10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9).

**RUIZ, Gladys.** *Polímeros Biodegradables a partir de almidón de yuca* [en línea], Universidad Eafit de Medellín, Tesis de Grado para la Obtención del Título Magíster en Ingeniería de Procesamientos de Polímeros. 2012. pp. 10-97. Disponible en: [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys\\_RuizAviles\\_2005.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2).

**SOTO, Erika et al.** *El mercado y la producción de quinua en el Perú* [en línea]. Lima-Perú: 2015. pp. 20-172. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2652/BVE17038730e.pdf;jsessionid=1D2763144381DFACADD038DA71B7C761?sequence=1>.

**TELÉGRAFO.** *Ecuador tiene iniciativas para reducir consumo de plástico.* [en línea]. abril 2018. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/ecuador-reduccion-consumo-plasticos-ambiente>.

**TRUJILLO RIVERA, Cinthya.** Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*manihot esculente crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos [en línea], Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Facultad de Ingeniería, Escuela de Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial. 2014. pp. 1-147. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1013.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/6>

5/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

**TUBÓN, Irvín.** Formulación, Elaboración y Evaluación de Bioenvase para Caramelos a Base de Almidón de Yuca, Sacarosa y Gelatina [en línea], Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. 2013. pp. 10-107. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2572>.

**TURCIOS, Reinaldo.** "T-Student. Usos y abusos". *Revista Mexicana de Cardiología* [en línea], 2015. vol. 26, no. 1, pp. 59-61. ISSN 01882198. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)

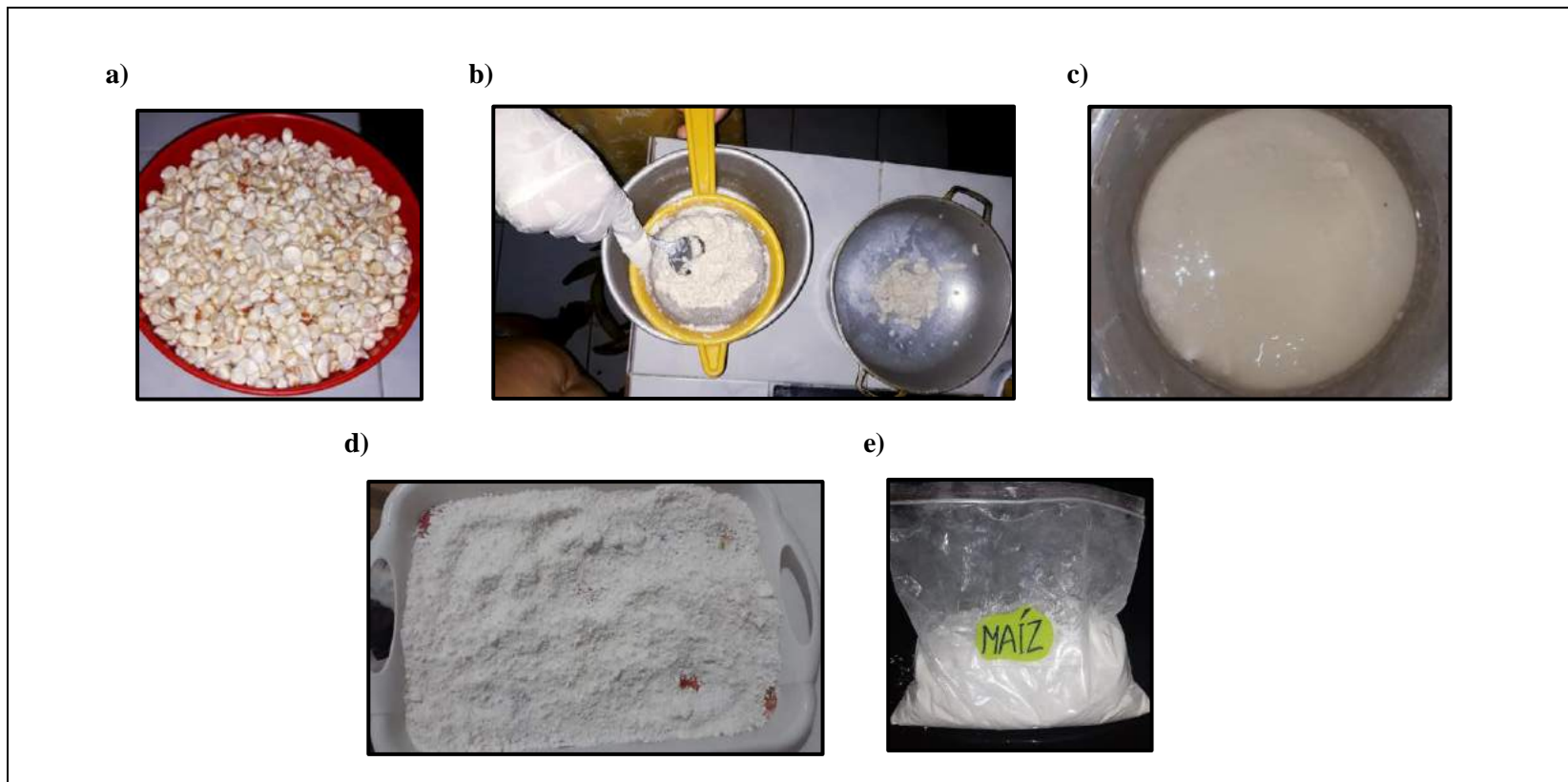
**URANGO, Luz.** "Componentes del maíz en la nutrición humana". *Revistas UdeA* [en línea], 2018. pp. 185-209. Disponible en: <file:///C:/Users/EDI/Downloads/336229-Texto del capítulo-161342-1-10-20181031.pdf>.

**VALERO, Manuel et al.** "Biopolímeros: Avances y Perspectivas". *DYNA (Colombia)* [en línea], 2013. vol. 80, no. 181, pp. 171-180. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>.

**VÁZQUEZ, A et al.** "Biolásticos y plásticos degradables". *Asociación Nacional De Industrias Del Plástico A.C.* [en línea], 2015. vol. 46, pp. 1-11. DOI 10.13140/RG.2.1.1294.4241. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303045045\\_Bioplasticos\\_y\\_plasticos\\_degradables](https://www.researchgate.net/publication/303045045_Bioplasticos_y_plasticos_degradables).

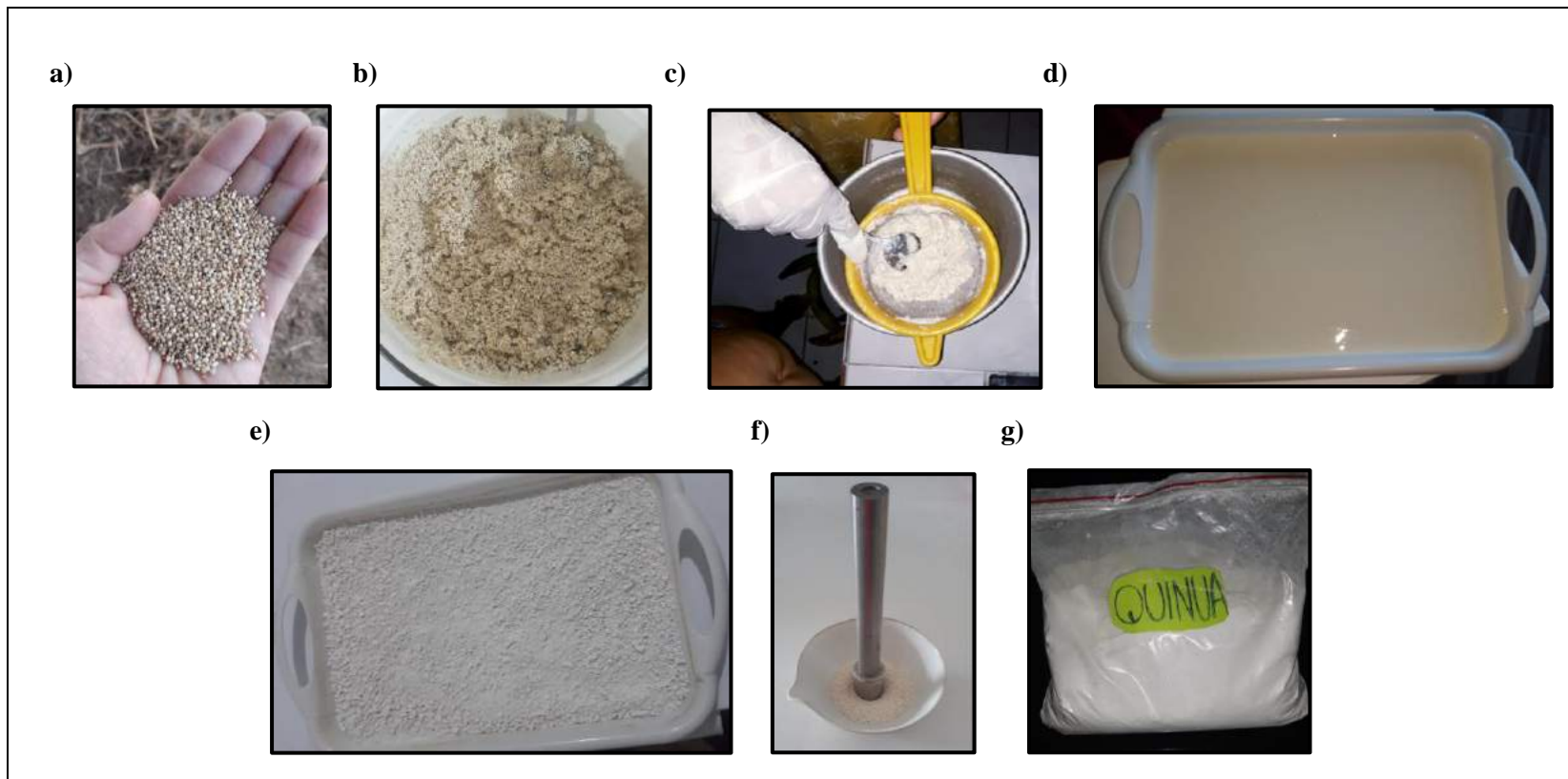
## ANEXOS

### Anexo A. Extracción del Almidón de Maíz.



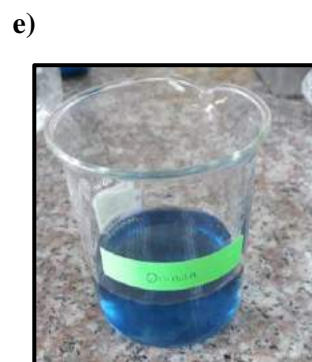
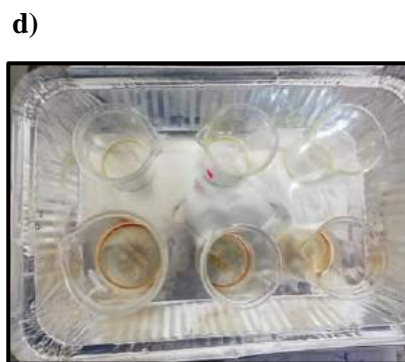
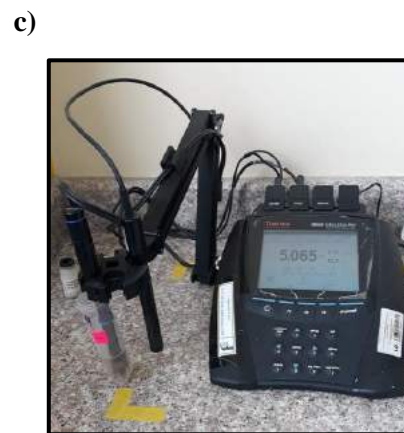
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ POR VÍA HÚMEDA</b>		
a. Selección de la materia prima. b. Licuado y filtrado del maíz. c. Decantación de la muestra. d. Almidón de maíz seco. e. Almidón totalmente tamizado y empacado.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	<b>ELABORADO POR:</b> ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA	<b>LÁMINA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
			1	1:1	2021/03/26

**Anexo B.** Extracción del Almidón de Quinua.



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>ELABORADO POR: ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA</b> </p>	<b>EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE QUINUA POR VÍA SECA</b>		
<p>a. Selección de la materia prima.</p> <p>b. Lavado y remojo de la quinua.</p> <p>c. Licuado y filtrado de la muestra.</p> <p>d. Decantación de la muestra.</p> <p>e. Almidón de quinua seco.</p> <p>f. Molienda y trituración del almidón.</p> <p>g. Almidón totalmente tamizado y empacado.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado      <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado      <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información      <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		LÁMINA:	ESCALA:	FECHA:
			2	1:1	2021/03/26

**Anexo C. Caracterización Físico – Química del Almidón de Maíz y Quinua.**



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ELABORADO POR: ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA</b></p>	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ Y QUINUA</b>		
<p>a. Determinación de la densidad aparente.</p> <p>b. Determinación de la temperatura de gelatinización.</p> <p>c. Medición del pH.</p> <p>d. Ensayo de solubilidad.</p> <p>e. Ensayo de sensibilidad.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado      <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado      <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información      <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<b>LÁMINA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
			3	1:1	2021/03/26



**Anexo D.** Elaboración de los Bioplásticos de Maíz y Quinua.

a)



b)



c)



d)

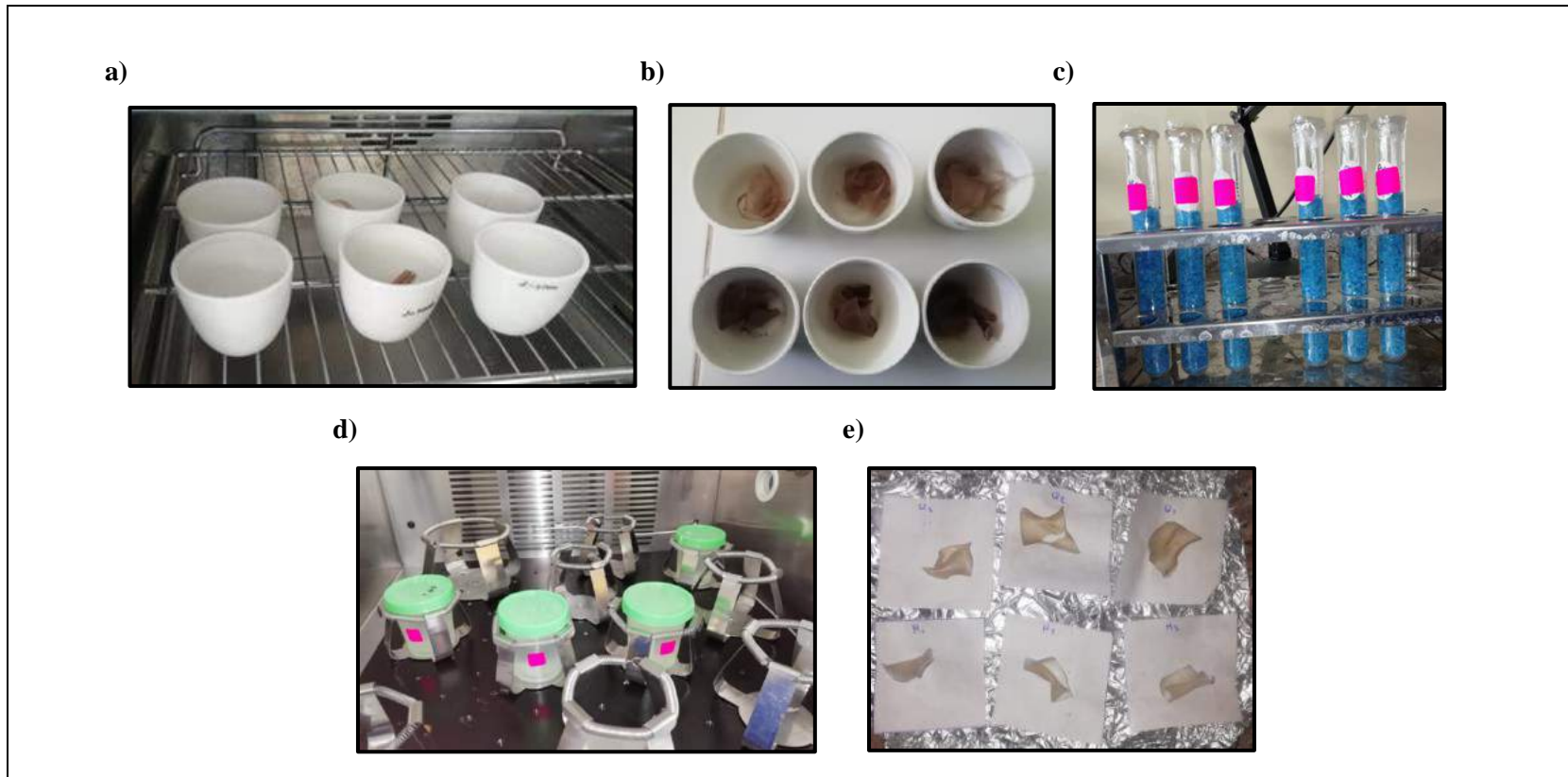


e)



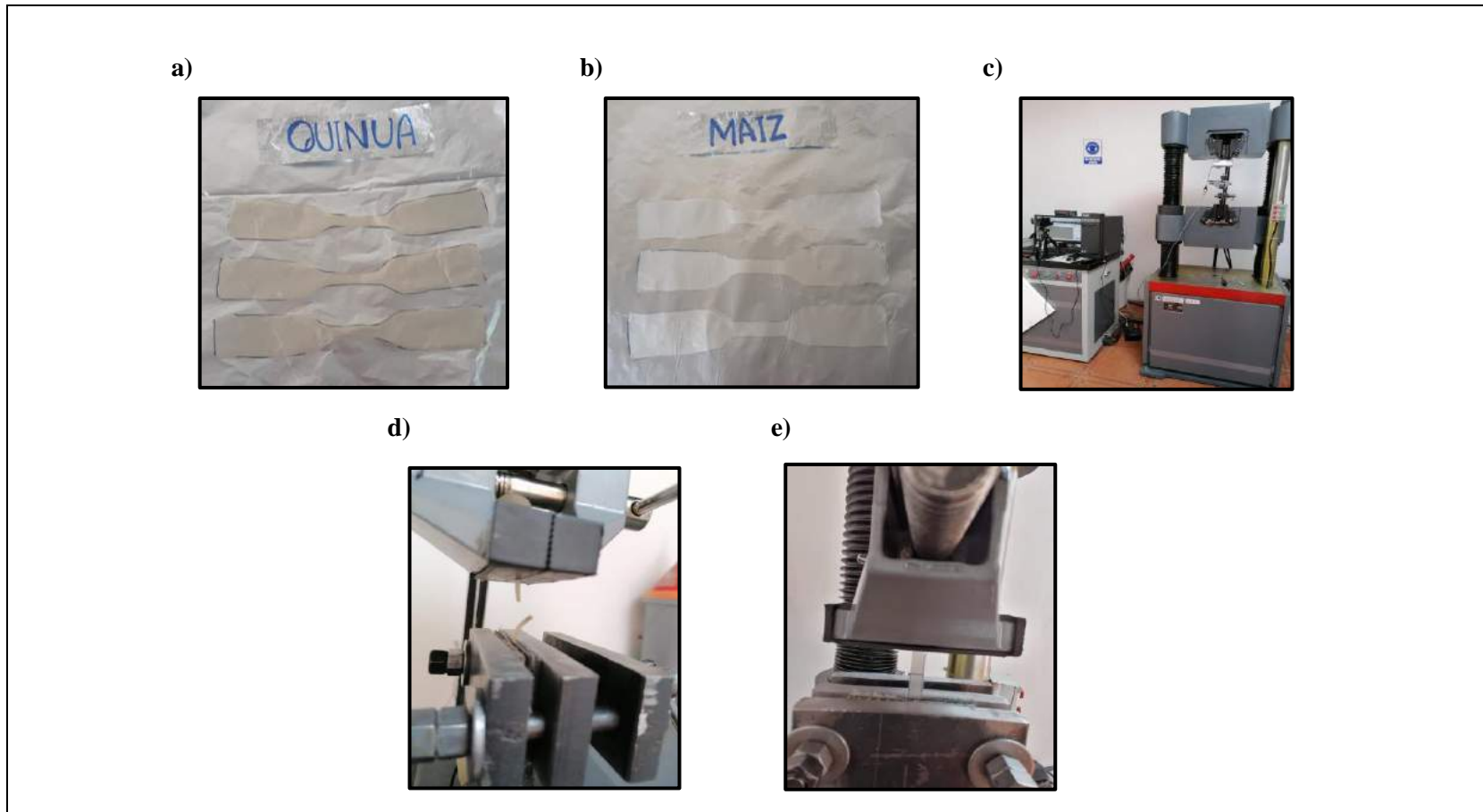
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>ELABORADO POR:</b> ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA	<b>OBTENCIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS DE MAÍZ Y QUINUA</b>		
a. Plastificantes usados para la obtención de los bioplásticos.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		<b>LÁMINA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
b. Peso del almidón.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		4	1:1	2021/03/26
c. Toma de la temperatura a la mezcla.	<input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				
d. Vaciado de la mezcla en las cajas Petri.					
e. Modelo del bioplástico obtenido.					

**Anexo E. Caracterización Físico-Química de los Bioplásticos de Maíz y Quinua.**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>ELABORADO POR:</b> ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS BIOPLÁSTICOS DE MAÍZ Y QUINUA</b>		
a, b. Ensayo de humedad. c. Ensayo de permeabilidad de vapor. d, e. Prueba de solubilidad.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
			5	1:1	2021/03/26

**Anexo F. Caracterización Mecánica de los Bioplásticos de Maíz y Quinua.**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR                  POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO                  FACULTAD DE CIENCIAS                  ESCUELA DE INGENIERÍA                  QUÍMICA</b>	<b>CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS                  BIOPLÁSTICOS DE MAÍZ Y QUINUA</b>		
a, b. Probetas tipo A diseñadas para el bioplástico de quinua y maíz. c. Equipo universal usado para la determinación de las pruebas de tracción. d, e. Ensayos de tracción realizados al bioplástico de quinua y maíz.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>
		<b>ELABORADO POR:</b> ALEXANDRA ABIGAIL LEDESMA	6	1:1	2021/03/26

Anexo G. Informe de Resultados del Análisis Proximal del Almidón de Maíz y Quinoa.

MC-LSAIA-2201-04



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
 LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS  
 Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134  
 Casilla postal 17-01-340



INFORME DE ENSAYO No: 20-084

**NOMBRE PETICIONARIO:** Srta. Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña  
**DIRECCIÓN:** Rigoberto Luna y Yutzos  
**FECHA DE EMISIÓN:** 21-09-2020  
**FECHA DE ANÁLISIS:** Del 10 al 21 de septiembre de 2020

**INSTITUCIÓN:** Particular  
**ATENCIÓN:** Srta. Alexandra Ledesma  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 10/09/2020  
**HORA DE RECEPCIÓN:** 08H15  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Proximal azúcares totales, amilosa, pH

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS <sup>Ω</sup>	E.E. <sup>Ω</sup>	PROTEÍNA <sup>Ω</sup>	FIBRA <sup>Ω</sup>	E.L.N. <sup>Ω</sup>	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
20-0614	11,40	1,08	3,73	6,35	1,44	87,40	Almidón de quinoa
20-0615	12,74	0,93	1,37	5,84	0,84	91,02	Almidón de maíz
ANÁLISIS		pH	AZÚCARES TOTALES <sup>Ω</sup>	AMILOSA <sup>Ω</sup>			
MÉTODO		MO-LSAIA-29	MO-LSAIA-21				
MÉTODO REF.		Pontillon. I.1997	Dubois 1956	Morrison y Laignelet 1983			
UNIDAD			%	%			
20-0614		3,83	3,95	20,09			Almidón de quinoa
20-0615		5,42	0,23	21,23			Almidón de maíz

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

Dr. Iván Samaniego, MSc.  
RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME



Ing. Bladimir Ortiz  
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni 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 este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.



**Anexo H. Informe de Resultados del Ensayo de Tracción del Bioplástico de Maíz.**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 01	
SOLICITADO POR:	Alexandra A Ledesma Ugsiña
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO - MAÍZ
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2020 - 11
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	23-nov-20
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-2016500064
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	IM - B
CARACTERÍSTICA	LÁMINA TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.27
ANCHURA [mm]	9.56
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.58
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	7.275.E-01
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.22
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.86
CARGA MAXIMA [N]	2.61
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.01
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	15.87
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 02	
SOLICITADO POR:	Alexandra A Ledesma Ugsiña
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO - MAÍZ
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2020 - 11
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635.012
FECHA DE ENSAYO:	23-nov-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650064 Cód IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	2M - B
CARACTERÍSTICA	LÁMINA TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.27
ANCHURA [mm]	9.90
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.67
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	6.002.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.06
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.77
CARGA MAXIMA [N]	2.16
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.81
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	23.30
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



**LenMav**  
LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES  
Riobamba - Ecuador

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Alexandra A Ledesma Ugsiña
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L.) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
<b>DIRECCION:</b>	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	BIOPLÁSTICO - MAÍZ
<b>MATERIAL:</b>	LÁMINA DE PLÁSTICO
<b>FECHA DE FABRICACIÓN:</b>	2020 - 11
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	NTE INEN 2635:012
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	23-nov-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064 <b>CÓD IDENT:</b> M2
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL</b>	3M - B
<b>CARACTERÍSTICA</b>	LÁMINA TRANSPARENTE
<b>ESPESOR [mm]</b>	0.24
<b>ANCHURA [mm]</b>	8.80
<b>LONGITUD INICIAL [mm]</b>	25.00
<b>SECCION TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]</b>	2.11
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]</b>	2.448.E+00
<b>CARGA DE FLUENCIA [N]</b>	1.29
<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]</b>	0.61
<b>CARGA MAXIMA [N]</b>	1.35
<b>ESFUERZO MAXIMO [MPa]</b>	0.64
<b>PORCENTAJE DE ELONGACION [%]</b>	33.78
<b>OBSERVACIONES:</b>	

Aprobado por:



  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1



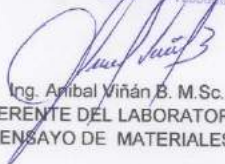
Anexo I. Informe de Resultados del Ensayo de Tracción del Bioplástico de Quinua.



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 04	
SOLICITADO POR:	Alexandra A Ledesma Ugsiña
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO - QUINUA
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2020 - 11
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	23-nov-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	IQ - B
CARACTERÍSTICA	LÁMINA TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.29
ANCHURA [mm]	7.33
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.13
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.578.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.37
CARGA MAXIMA [N]	0.85
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.40
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	29.18
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 05	
SOLICITADO POR:	Alexandra A Ledesma Ugsiña
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO - QUINUA
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2020 - 11
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	23-nov-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064 Cód IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	2Q - B
CARACTERÍSTICA	LÁMINA TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.3
ANCHURA [mm]	9.59
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.88
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.440.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.91
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.32
CARGA MAXIMA [N]	0.97
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.34
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	28.03
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:




Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 06	
SOLICITADO POR:	Alexandra A Ledesma Ugsiña
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS L) Y QUÍNUA (CHENOPODIUM QUINOA) PARA ENVOLTURAS ALIMENTICIAS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO - QUINUA
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2020 - 11
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	23-nov-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	3Q - B
CARACTERÍSTICA	LÁMINA TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.3
ANCHURA [mm]	8.29
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.49
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.904.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.95
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.38
CARGA MAXIMA [N]	0.98
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.39
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	23.87
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

**Anexo J.** Informe de Resultados del Análisis Microbiológico del Bioplástico de Maíz y Quinua.

**RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS DE LOS BIOPLASTICOS**

<b>NOMBRE:</b> Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Lámina de bioplástico de Maíz y lámina de bioplástico de Quinua
<b>FECHA DE ENTREGA:</b> 10 de diciembre del 2020

**Examen Físico**

<b>COLOR:</b> Transparente
<b>OLOR:</b> Inoloro
<b>ASPECTO:</b> Uniforme

**Examen Bacteriológico**

<b>Maíz</b>			
<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>*Valores de referencia</b>	<b>Resultados</b>
Coliformes Totales	UFC/g	-	Ausencia
Coliformes Fecales ( <i>EscherichiaColi</i> )	UFC/g	< 10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	1 000- 5 000	Ausencia
<b>Quinua</b>			
<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>*Valores de referencia</b>	<b>Resultados</b>
Coliformes Totales	UFC/g	-	Ausencia
Coliformes Fecales ( <i>EscherichiaColi</i> )	UFC/g	< 10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	1 000- 5 000	Ausencia

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.



**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:** 28 / 06 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Alexandra Abigail Ledesma Ugsiña</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera Química</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.06.28 15:44:49 -05'00'



1097-DBRA-UTP-2021