



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

**ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE  
ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot  
esculenta*) PARA SU USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:**

**KAREN MARCELA ROBALINO ZAMBRANO**

Riobamba – Ecuador

2023



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

**ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE  
ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot  
esculenta*) PARA SU USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** KAREN MARCELA ROBALINO ZAMBRANO

**DIRECTOR:** ING. HANNÍBAL LORENZO BRITO MOÍNA PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

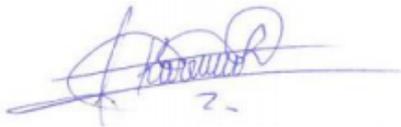
© 2023, Karen Marcela Robalino Zambrano

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, Karen Marcela Robalino Zambrano, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de octubre de 2023



**Karen Marcela Robalino Zambrano**  
**210062414-3**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y YUCA (*Manihot esculenta*) PARA SU USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**, realizado por la señorita: **KAREN MARCELA ROBALINO ZAMBRANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shuguli <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		23-10-24
Ing. Hanníbal Lorenzo Brito Moína PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23-10-24
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23-10-24

## **DEDICATORIA**

A mi madre, quien a través de todo este proceso ha estado conmigo en los buenos y malos momentos, gracias a su apoyo incondicional me demostró que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación. A mis hermanos, pues sin sus palabras de aliento no habría logrado llegar hasta donde estoy.

Karen R.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fuerza para no rendirme en los momentos de dificultad, por mantenerme con salud, por ser mi luz de esperanza y guiar mis pasos y llevarme por el buen camino.

Agradezco a mi madre por ser mi apoyo y estar para mí en todo momento, porque a pesar de todo su amor es incondicional, por enseñarme que puedo lograr lo que me proponga.

A mis hermanos por los consejos y palabras de aliento, por animarme en los malos momentos y brindarme su confianza en cada decisión que he tomado.

En especial agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por los conocimientos recibidos en cada periodo académico y por apoyar a los estudiantes durante el trabajo de instalación permitiendo el acceso a los laboratorios y poniendo a su disposición los materiales y equipos que en ellos se encuentran.

Karen R.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del Problema .....	3
1.2 Objetivos del Proyecto.....	3
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.3 Justificación de la Investigación.....	4
1.4 Planteamiento de Hipótesis.....	5
1.4.1 <i>Hipótesis General</i> .....	5
1.4.2 <i>Hipótesis Específicas</i> .....	6
1.5 Identificación de Variables .....	6
1.6 Operación de Variables.....	7
CAPÍTULO II .....	9
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2 Marco Conceptual .....	13
2.2.1 <i>Plásticos</i> .....	13
2.2.1.1 <i>Plásticos Biodegradables</i> .....	14
2.2.1.2 <i>Bioplásticos</i> .....	14
2.2.2 <i>Componentes para la elaboración de bioplásticos</i> .....	15

2.2.2.1	<i>Plastificante</i> .....	15
2.2.2.2	<i>Modificador químico</i> .....	16
2.2.2.3	<i>Otros</i> .....	17
<b>2.2.3</b>	<b><i>Almidón</i></b> .....	<b>17</b>
2.2.3.1	<i>Fuentes principales de almidón</i> .....	17
2.2.3.2	<i>Estructura del almidón</i> .....	18
<b>2.2.4</b>	<b><i>Cambios hidrotérmicos producidos en el almidón</i></b> .....	<b>19</b>
2.2.4.1	<i>Gelatinización</i> .....	19
2.2.4.2	<i>Retrogradación</i> .....	20
<b>2.2.5</b>	<b><i>Yuca</i></b> .....	<b>21</b>
2.2.5.1	<i>Descripción Botánica</i> .....	21
2.2.5.2	<i>Producción de Yuca</i> .....	22
<b>2.2.6</b>	<b><i>Mashua</i></b> .....	<b>22</b>
2.2.6.1	<i>Descripción Botánica</i> .....	22
2.2.6.2	<i>Producción de Mashua</i> .....	23
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>24</b>
<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo y Diseño de Investigación</b> .....	<b>24</b>
3.1.1	<i>Tipo de Investigación</i> .....	24
3.1.2	<i>Diseño de investigación</i> .....	24
<b>3.2</b>	<b>Unidad de Análisis</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Población, Selección y Cálculo del Tamaño de la Muestra</b> .....	<b>25</b>
3.3.1	<i>Población de Estudio</i> .....	25
3.3.2	<i>Selección de la Muestra</i> .....	25
3.3.3	<i>Tamaño de Muestra</i> .....	26
<b>3.4</b>	<b>Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	<b>26</b>
3.4.1	<b><i>Extracción de almidón:</i></b> .....	<b>26</b>
3.4.1.1	<i>Método de Extracción del Almidón de Mashua</i> .....	27
3.4.1.2	<i>Método de Extracción del Almidón de Yuca</i> .....	28

3.4.1.3	<i>Caracterización físico química del almidón de Mashua y Yuca</i> .....	30
<b>3.4.2</b>	<b><i>Obtención de Bioplástico</i></b> .....	<b>33</b>
3.4.2.1	<i>Método de Obtención de Bioplástico</i> .....	33
3.4.2.2	<i>Caracterización del bioplástico obtenido de la mezcla de almidón de Mashua y Yuca</i> 34	
<b>CAPITULO IV</b> .....		<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis fisicoquímico y organoléptico de la materia prima</b> .....	<b>36</b>
4.1.1	<i>Caracterización fisicoquímica y organoléptica de las muestras de mashua</i> .....	36
4.1.2	<i>Caracterización fisicoquímica y organoléptica de las muestras de yuca</i> .....	37
<b>4.2</b>	<b>Rendimiento en la Extracción de Almidón</b> .....	<b>38</b>
4.2.1	<i>Proceso de Extracción de Almidón de Mashua</i> .....	38
4.2.2	<i>Proceso de Extracción de Almidón de Yuca</i> .....	38
4.2.2.1	<i>Comparación de las Extracciones de Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	39
<b>4.3</b>	<b>Análisis fisicoquímico y organoléptico del almidón de mashua y almidón de yuca</b> <b>40</b>	
4.3.1	<i>Caracterización fisicoquímica y organoléptica del almidón de mashua y almidón de yuca</i> <b>40</b>	
4.3.1.1	<i>Contenido de Amilosa en el Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	41
4.3.1.2	<i>Determinación de pH del Almidón de Mashua y del Almidón de Yuca</i> .....	41
4.3.1.3	<i>Porcentaje de humedad del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	42
4.3.1.4	<i>Residuos por calcinación del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	42
4.3.1.5	<i>Temperatura de gelatinización del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	42
4.3.1.6	<i>Prueba de Solubilidad del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i> .....	43
4.3.1.7	<i>Determinación de la Densidad Aparente del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</i>	43
<b>4.4</b>	<b>Obtención del biofilm a partir de la mezcla de almidones</b> .....	<b>44</b>
<b>4.5</b>	<b>Caracterización fisicoquímica y organoléptica del biofilm</b> .....	<b>46</b>
4.5.1.1	<i>Análisis Sensorial del biofilm</i> .....	46
4.5.1.2	<i>Determinación de humedad del biofilm</i> .....	46
4.5.1.3	<i>Determinación de Solubilidad del biofilm</i> .....	47

4.5.1.4	<i>Propiedad de Tracción del biofilm</i> .....	47
4.5.1.5	<i>Biodegradación</i> .....	48
4.5.2	<b>Análisis de la Extracción de Almidón de Mashua y Almidón de Yuca</b> .....	48
4.5.2.1	<i>Análisis de Varianza para el Almidón de Mashua</i> .....	49
4.5.2.2	<i>Análisis de Varianza para el Almidón de Yuca</i> .....	50
4.5.3	<b>Análisis del Porcentaje de Degradación del Biofilm</b> .....	51
4.6	<b>Análisis del costo de producción del biofilm</b> .....	52
4.7	<b>Prueba de Hipótesis</b> .....	53
4.7.1	<i>General</i> .....	53
4.7.2	<i>Específicas</i> .....	53
4.8	<b>Discusión</b> .....	54
<b>CAPÍTULO V</b> .....		57
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	57
5.1	<b>Conclusiones</b> .....	57
5.2	<b>Recomendaciones</b> .....	59
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Identificación de Variables.....	6
<b>Tabla 2-1:</b> Operación de Variables .....	7
<b>Tabla 1-2:</b> Clasificación Taxonómica de la Yuca.....	21
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación Taxonómica de la Mashua.....	23
<b>Tabla 1-3:</b> Diseño Experimental para la Investigación.....	25
<b>Tabla 2-3:</b> Tratamientos en la Extracción de almidón .....	26
<b>Tabla 3-3:</b> Caracterización físico química del almidón de Mashua y Yuca.....	30
<b>Tabla 4-3:</b> Datos preliminares en la obtención de bioplástico .....	33
<b>Tabla 5-3:</b> Caracterización del bioplástico obtenido de la mezcla de almidón de Mashua y Yuca .....	34
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados de la Caracterización Química de las muestras de mashua.....	36
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados de la Caracterización Organoléptica de las muestras de mashua.....	36
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados de la Caracterización Física de las muestras de mashua .....	36
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados de la Caracterización Química de las muestras de yuca.....	37
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados de la Caracterización Organoléptica de las muestras de yuca.....	37
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados Caracterización Física de las muestras de yuca .....	37
<b>Tabla 7-4:</b> Proceso de Extracción de Almidón de Mashua .....	38
<b>Tabla 8-4:</b> Proceso de Extracción de Almidón de Yuca .....	39
<b>Tabla 9-4:</b> Resultados de la Caracterización Organoléptica del almidón de mashua .....	40
<b>Tabla 10-4:</b> Resultados de la Caracterización Organoléptica del almidón de yuca .....	40
<b>Tabla 11-4:</b> Contenido de Amilosa en las muestras de almidón .....	41

<b>Tabla 12-4:</b> Determinación de pH en las muestras de almidón.....	41
<b>Tabla 13-4:</b> Porcentaje de humedad de las muestras de almidón.....	42
<b>Tabla 14-4:</b> Residuos por calcinación de las muestras de almidón.....	42
<b>Tabla 15-4:</b> Temperatura de gelatinización de las muestras de almidón .....	43
<b>Tabla 16-4:</b> Prueba de Solubilidad de las muestras de almidón.....	43
<b>Tabla 17-4:</b> Densidad aparente de las muestras de almidón .....	43
<b>Tabla 18-4:</b> Obtención del biofilm de la mezcla de almidón .....	45
<b>Tabla 19-4:</b> Análisis Sensorial del biofilm .....	46
<b>Tabla 20-4:</b> Determinación de humedad del biofilm .....	46
<b>Tabla 21-4:</b> Determinación de Solubilidad del biofilm.....	47
<b>Tabla 22-4:</b> Resultado de la Propiedad de Tracción del Biofilm.....	47
<b>Tabla 23-4:</b> Masa inicial y final del biofilm después del proceso de degradación .....	48
<b>Tabla 24-4:</b> Análisis de Varianza del Almidón de Mashua .....	49
<b>Tabla 25-4:</b> Análisis de Varianza del Almidón de Yuca.....	50
<b>Tabla 26-4:</b> Análisis Tukey de la Yuca.....	50
<b>Tabla 27-4:</b> Comparación entre tratamientos.....	50
<b>Tabla 28-4:</b> Porcentaje de Degradación del Biofilm.....	51
<b>Tabla 29-4:</b> Resultados Obtención de Almidón.....	52
<b>Tabla 30-4:</b> Proyección Cantidad de Producto Final .....	52
<b>Tabla 31-4:</b> Análisis Económico para la producción de las láminas de biofilm .....	52

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b> Clasificación de los Plásticos Biodegradables (EDP).....	15
<b>Ilustración 2-2:</b> Segmentos de una molécula de Amilosa .....	18
<b>Ilustración 3-2:</b> Segmento de una molécula de Amilopectina.....	19
<b>Ilustración 4-2:</b> Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua .....	20
<b>Ilustración 5-2:</b> Planta de Yuca .....	21
<b>Ilustración 6-2:</b> Fruto y follaje de la planta de Mashua.....	22
<b>Ilustración 1-3:</b> Proceso de Extracción de Almidón de Mashua .....	27
<b>Ilustración 2-3:</b> Proceso de Extracción de Almidón de la Yuca.....	29
<b>Ilustración 3-3:</b> Procedimiento para la Obtención de Bioplástico.....	33
<b>Ilustración 1-4:</b> Comparación entre las extracciones de mashua y yuca .....	39
<b>Ilustración 2-4:</b> Comparación de Rendimiento entre tubérculos.....	49

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) PARTE I

**ANEXO B.** EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) PARTE II

**ANEXO C.** EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)

**ANEXO D.** ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE I

**ANEXO E.** ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE II

**ANEXO F.** ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN DE MASHUA Y DEL ALMIDÓN DE YUCA

**ANEXO G.** ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA MATERIA PRIMA

**ANEXO H.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA YUCA (*Manihot esculenta*)

**ANEXO I.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)

**ANEXO J.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)

**ANEXO K.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)

**ANEXO L.** ELABORACIÓN DEL BIOFILM PARTE I

**ANEXO M.** ELABORACIÓN DEL BIOFILM PARTE II

**ANEXO N.** BIODEGRADACIÓN DEL BIOFILM

**ANEXO O.** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE MASHUA Y YUCA

**ANEXO P.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T1

**ANEXO Q.** ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T2

**ANEXO R. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T3**

**ANEXO S. ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T4**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>TM1</b>	Extracción de almidón de mashua a velocidad baja (6800 RPM) por 30 segundos.
<b>TM2</b>	Extracción de almidón de mashua a velocidad baja (6800 RPM) por 60 segundos.
<b>TM3</b>	Extracción de almidón de mashua a velocidad alta (20000 RPM) por 30 segundos.
<b>TM4</b>	Extracción de almidón de mashua a velocidad alta (20000 RPM) por 60 segundos.
<b>TY1</b>	Extracción de almidón de yuca a velocidad baja (6800 RPM) por 30 segundos.
<b>TY2</b>	Extracción de almidón de yuca a velocidad baja (6800 RPM) por 60 segundos.
<b>TY3</b>	Extracción de almidón de yuca a velocidad alta (20000 RPM) por 30 segundos.
<b>TY4</b>	Extracción de almidón de yuca a velocidad alta (20000 RPM) por 60 segundos.
<b>T1</b>	Formulación para el biofilm: 3 g de la mezcla de almidones (50/50) de los mejores tratamientos ( <b>TM1</b> y <b>TY3</b> ) y 2 ml de glicerina.
<b>T2</b>	Formulación para el biofilm: 3 g de la mezcla de almidones (50/50) de los mejores tratamientos ( <b>TM1</b> y <b>TY3</b> ) y 3 ml de glicerina.
<b>T3</b>	Formulación para el biofilm: 4 g de la mezcla de almidones (50/50) de los mejores tratamientos ( <b>TM1</b> y <b>TY3</b> ) y 2 ml de glicerina.
<b>T4</b>	Formulación para el biofilm: 4 g de la mezcla de almidones (50/50) de los mejores tratamientos ( <b>TM1</b> y <b>TY3</b> ) y 3 ml de glicerina.

## RESUMEN

Los desechos generados por el uso indiscriminado de los plásticos derivados de petróleo han provocado un serio problema ambiental, siendo el principal inconveniente su extenso período de degradación, por lo que a través de esta investigación se buscó elaborar un biofilm a partir de la mezcla de almidón de mashua y almidón de yuca para su uso en el embalaje de alimentos, que además ayude a reducir la cantidad de residuos sólidos en el planeta. Esta investigación fue realizada en cuatro etapas, iniciando con la extracción de almidón utilizando el método factorial  $2^k$ , recomendado para experimentos con dos variables. En esta fase se alcanzó un 5% de rendimiento en la mashua con **TM1** y un 15,9% en el almidón de yuca con **TY3**; siguiendo con la caracterización de los almidones obtenidos de acuerdo a lo establecido en la Norma INEN 1456. En la etapa de elaboración de biofilm se obtuvo como mejor formulación a **T3**, utilizando 4 g de la mezcla de almidón (50% **TM1**/50% **TY3**), 2 ml de plastificante (glicerina), 4 ml de ácido acético y 50 ml de agua destilada. Finalmente se caracterizó la lámina de biofilm, presentando un porcentaje de elongación de 7.6% y un espesor de 0.2 mm, un porcentaje de solubilidad del 34.18% y una humedad de 14.75%. Se observó también, que presenta una degradabilidad aceptable en aire y suelo, concluyendo que es apto para el recubrimiento de alimentos al mantener sus propiedades por semanas. Por último, se recomienda continuar con la búsqueda de otros aditivos que puedan mejorar las características de este biofilm, que permita ser destinado a otro uso y contribuya a la disminución del uso de los plásticos derivados de petróleo.

**Palabras clave:** <BIOFILM>, <ALMIDÓN>, <YUCA (*Manihot esculenta*)>, <MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)>, <DEGRADABILIDAD>.



26-10-2023

1865-DBRA-UPT-2023

## ABSTRACT

The waste generated by the indiscriminate use of petroleum-derived plastics has caused a serious environmental problem, being the long degradation period the main inconvenience, therefore, through this research we sought to develop a biofilm from the mixture of mashua starch and cassava starch for the use in food packaging, which also helps to reduce the amount of solid waste on the planet. This research was conducted in four stages, starting with the extraction of starch using the 2K factorial method, recommended for experiments with two variables. In this stage, a 5% yield was achieved in mashua with TM1 and 15.9% in cassava starch with TY3; following with the characterization of the starches obtained according to the provisions of INEN Standard 1456. In the biofilm elaboration stage, T3 was obtained as the best formulation, using 4 g of the starch mixture (50% TM1/50% TY3), 2 ml of plasticizer (glycerin), 4 ml of acetic acid and 50 ml of distilled water. Finally, the biofilm film was characterized, presenting an elongation percentage of 7.6% and a thickness of 0.2 mm, a solubility percentage of 34.18% and a humidity of 14.75%. It was also observed that it presents an acceptable degradability in air and soil, concluding that it is suitable for coating food by maintaining its properties for weeks. Finally, it is recommended to continue with the search for other additives that can improve the characteristics of this biofilm, allowing it to be destined to another use and contributing to the reduction of the use of petroleum-derived plastics.

**Key words:** < BIOFILM>, <STARCH>, <CASSAVA (*Manihot esculenta*)>, <MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)>, <DEGRADABILITY>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

Según reporta la Alianza Basura Cero Ecuador, el país importó 47.596 toneladas de desechos plásticos entre 2018 y 2021 por un valor cercano a los USD 19 millones. Estos desperdicios son separados en dos grupos: los que pueden ser utilizados en la fabricación de envases y fundas y otros que son de un solo uso que son los principales causantes de los problemas ambientales. Aproximadamente entre el 30% y 50% de esta basura llega mezclada con otros materiales que hace imposible su reciclaje, terminando en botaderos y rellenos sanitarios del país aumentando la contaminación. (Machado, 2022)

La problemática ambiental que se ha generado a raíz de la gran cantidad de residuos de plásticos derivados de petróleo, sobre todo en el sector de empaque y embalaje, es tal que ha atraído la atención de científicos y organizaciones ambientalistas en búsqueda de alternativas más agradables al medio ambiente. El inconveniente principal de estos plásticos elaborados a base de petróleo es su extenso periodo de degradación, provocando que se acumule en hábitats de flora y fauna importante para el ecosistema. Además, que contribuye al efecto invernadero pues si estos son expuestos a la luz solar liberan gases contaminantes como el metano y el etileno, he incluso materiales de polietileno de baja densidad pueden seguir emitiendo estos gases aun sin continuar en exposición a la luz del sol. (Rodríguez H. , 2019)

Por los desafíos ambientales, económicos y de seguridades provocadas por estos residuos, científicos de todo el mundo han empezado en el proceso de inventar polímeros biodegradables que sean sustitutos de los polímeros obtenidos del petróleo. Estos polímeros biodegradables suponen ser más amigables con el medio ambiente, pero su alto costo de producción lleva a ciertas limitaciones. De aquí nace la idea de utilizar productos agrícolas y sus residuos como fuente principal de almidón, pues al estar compuesto por dos polímeros (amilosa y amilopectina) lo convierte en un material idóneo para la elaboración de bioplásticos debido a su bajo costo. Al ser el almidón el componente principal en la elaboración de plásticos biodegradables, se utilizan principalmente alimentos que contengan en su composición una gran cantidad de este elemento como el maíz, el trigo, el arroz, y en tubérculos como la papa, la yuca, entre otros.

Al ser la planta de yuca capaz de crecer tanto en lugares húmedos y cálidos como en tierras con inviernos fríos y lluvias, se cultiva en todas las provincias del país, dándole ventaja otros cultivos más rentables; además, al contener entre un 27% - 36% de almidón en su composición ha aumentado el interés de su uso en la elaboración de bioplásticos. De igual manera, aunque dentro de la composición química de la mashua presenta un porcentaje aproximado de almidón del 2%

– 3%, gracias a que el cultivo de este tubérculo puede darse en condiciones desfavorables, pues se cultiva en suelos pobres, sin uso de fertilizantes ni pesticidas, la convierte en una materia prima potencial en la obtención de bioplásticos. (Surco, 2004, pág. 3)

A partir de la mezcla del almidón obtenido de estos tubérculos, mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*), se buscó obtener laminas biodegradables que aprovechen las propiedades físicas y mecánicas de ambos almidones obteniendo un producto amigable con el medio ambiente que además puede ser usado en el embalaje de alimentos y que genere fuentes de empleo para los agricultores de nuestro país. Para ello, se utilizó el diseño experimental  $2^k$  que relaciona el tiempo con la velocidad de trituración (alta y baja) para conocer el mejor tratamiento en la extracción de almidón; mismo diseño experimental fue aplicado para la elaboración del bioplástico relacionando esta vez la concentración de almidón con el plastificante, y mediante el análisis de las propiedades físico – químicas y mecánicas de los plásticos se determinó cual formulación es la más adecuada.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del Problema

La producción global de plásticos muestra un crecimiento por más de 50 años, y según los datos proporcionados por un grupo de investigación de España, esta producción subió a 299 millones de toneladas en 2013, lo que representa un aumento del 3,9% en comparación con 2012. (Rivero, y otros, 2017, pág. 1). Esto se vio impulsado por el consumismo masivo de plásticos derivados de petróleo, en su mayoría de aquellos que son de un solo uso, trayendo consecuencias devastadoras para el medio ambiente; un ejemplo alarmante es la degradación de los sistemas naturales pues, aunque existen sistemas de gestión de residuos establecidos en la mayoría de los países, gran parte de estos plásticos no se reciclan terminando en vertederos para llegar finalmente a los océanos, en donde provocan asfixia, heridas e incluso malformaciones en cetáceos y aves, afectando al ecosistema marino. (Jaén, Esteve, & Banos, 2019, pág. 2)

En la actualidad, gran parte de la población aún no está consciente del daño que se causa al medio ambiente y solo basta con ver cómo la industria del plástico ha sabido explotar las ventajas de este en la conserva de alimentos, fabricando desde platos, cucharas y vasos desechables, agua potable en botellas de plástico, hasta tomates envasados para su exhibición en supermercados. Es por ello que algunos países han empezado a buscar alternativas que permitan la regulación de la producción y consumo de productos fabricados a partir de estos plásticos, llegando a la conclusión que el uso de biopolímeros obtenidos a partir de recursos renovables podría ser una opción más amigable con el medio ambiente. (Meneses L. , 2020, pág. 2)

#### 1.2 Objetivos del Proyecto

##### 1.2.1 *Objetivo General*

Elaborar un biofilm a partir de la mezcla de almidón de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*) para uso como embalaje de alimentos.

##### 1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Extraer el almidón de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*), según el método estadístico 2<sup>k</sup>, para su uso como materia prima.

- Realizar la caracterización fisicoquímica tanto del almidón de mashua como de yuca según la Norma INEN 1456 referente a los Métodos de Análisis en Almidón Soluble.
- Obtener la mejor formulación para el biofilm a partir de la mezcla de mashua y yuca mediante ensayos a nivel de laboratorio.
- Validar el biofilm elaborado mediante la caracterización de sus propiedades físicas – mecánicas.

### **1.3 Justificación de la Investigación**

El petróleo crudo ha encontrado un gran campo de aplicación en la industria del plástico, y su valor depende fundamentalmente del precio y la disponibilidad del petróleo crudo y el gas natural, es por ello que dentro de la economía mundial la industria del plástico se ha convertido en una parte importante. Debido a la utilidad y beneficios que presenta el plástico, como ser un material resistente, duradero y económico, su consumo incrementa al pasar de los años, lo cual no permitiría que sea eliminado gradualmente.

El mayor problema de los plásticos radica en su durabilidad pues, al ser producidos a partir de derivados de petróleo, el gas natural y el carbón, requieren cientos de años para degradarse acumulándose en los ecosistemas. Es por ello que se ha comenzado a analizar como una alternativa viable para el control de los residuos sólidos el uso de plásticos biodegradables los cuales, al ser elaborados a partir de recursos renovables como frutas o verduras, brinda mejores opciones para tratar los desechos al final de su vida útil como el compostaje y la digestión anaeróbica (Bátori, 2018, pág. 1).

Precisamente, el término “Productos Ecológicos de Base Biológica” se ha utilizado para describir productos de este tipo, que tienen una potencial aceptabilidad comercial y ambiental, se derivan de recursos renovables, y tienen capacidades de reciclaje o biodegradabilidad (Ross, Ross, & Tighe, 2017, pág. 631). Es por ello que por medio de la presente investigación se pretende ayudar con una alternativa ambiental al problema de la cantidad de residuos sólidos provenientes de plásticos, aportando no solo a la industria del plástico, sino también al sector agrícola del país al usar sus productos como materia prima en la elaboración de bioplásticos.

Al ser el almidón un componente principal en la elaboración de plásticos biodegradables, se utilizan principalmente alimentos que contengan en su composición una gran cantidad de este elemento como por ejemplo el maíz, el trigo, el arroz, y una gran cantidad de tubérculos como la papa, la yuca entre otros. La mashua es un tubérculo sembrado y consumido por comunidades indígenas de los Andes formando parte de su dieta diaria, así también es preparada en ocasiones especiales como bautizos y matrimonios; siendo considerada como rustica debido a que puede ser cultivada en suelos pobres, sin necesidad de fertilizantes ni pesticidas, y aun así puede duplicar el

rendimiento de la papa. (Suquilanda, 2012, págs. 20-21). Según menciona en una entrevista Maria Cutiupala, presidenta de la Asociación de Mujeres Indígenas Mushuk Kawsay, la mashua abarcaba todos los campos de su comunidad, sin embargo, debido a su sabor fuerte la demanda en los mercados de este tubérculo fue bajando, provocando que las personas dejen de sembrarlo (Marquez, 2019). Gracias a sus condiciones de cultivo y a que dentro de la composición química de este tubérculo presenta un porcentaje aproximado de almidón del 2 – 3% la convierte en una materia prima potencial en la obtención de bioplásticos; beneficiando tanto al sector agrícola del Ecuador y a los pequeños productores, como a la obtención de plásticos biodegradables amigables con el medio ambiente.

De manera similar, la planta de yuca puede crecer tanto en lugares húmedos y cálidos como en tierras con inviernos fríos y lluvias, lo que le da ventaja comparando a otros cultivos más rentables. Sin embargo, la cantidad de glucósidos cianógenicos presentes en raíces y hojas determina el uso final de este tubérculo; por ende, las variedades llamadas dulces que tienen bajos niveles de estos glucósidos están presentes en la dieta diaria de diversas poblaciones, mientras que las variedades llamadas amargas tienen una mayor cantidad de glucósidos siendo usadas generalmente en procesos industriales (Aristizábal, Sánchez, & Mejía, 2007, pág. 2). Además, aprovechando la cantidad de almidón presente en este tubérculo (entre 27% - 36%) nace el interés de su uso en la elaboración de plásticos biodegradables.

Aprovechando la Fuerza de Tracción (N) aproximada del bioplástico de mashua de 2,11 y una Tensión (Kg/cm<sup>2</sup>) promedio de 0,192; y el Módulo de Elasticidad aproximado de 4,99 MPa del bioplástico de yuca, se propone en este proyecto de investigación mezclar los almidones de estos dos tubérculos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los bioplásticos elaborados por separado.

Este trabajo de investigación es desarrollado conjuntamente con el Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIAD), como aporte al proyecto de investigación “Obtención de Bioplásticos a partir de los Productos Agrícolas del Ecuador” en donde se busca potenciales productos para la extracción de almidón al ser el componente principal para la elaboración de plásticos biodegradables amigables con el medio ambiente.

## **1.4 Planteamiento de Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis General***

Se puede obtener un biofilm a partir del almidón extraído de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*) como materia prima, el cual sea capaz de ser utilizado como envoltura en el embalaje de alimentos.

### 1.4.2 Hipótesis Específicas

- El porcentaje de rendimiento en la obtención de almidón tanto de la mashua como de la yuca puede variar según el tratamiento que se siga para su extracción.
- Según los ensayos fisicoquímicos de solubilidad, pH y residuos por calcinación, se determinará si el almidón cumple con los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1456 y así pueda ser utilizado como materia prima en la elaboración de un plástico biodegradable a nivel de laboratorio.
- Con la variación de los aditivos y el almidón según el modelo estadístico  $2^k$  se hallará la formulación adecuada para obtener un plástico biodegradable con características óptimas.
- Las propiedades físico – mecánicas del biofilm permitirán establecer si este posee la calidad y requisitos adecuados para su uso en el embalaje de alimentos.

### 1.5 Identificación de Variables

**Tabla 1-1:** Identificación de Variables

Etapa del Proceso	Variable Independiente	Variable Dependiente
Extracción de almidón (Mashua y Yuca)	Cantidad de materia prima	Tiempo de secado Humedad
	Tiempo de trituración	Velocidad de secado
Caracterización fisicoquímica del almidón obtenido	Cantidad de almidón obtenido	Humedad
		Densidad aparente
		pH
		Ceniza
		Temperatura de Gelatinización
		Solubilidad
Elaboración de las láminas biodegradables	Concentración de ácido acético y glicerina	Espesor
		Humedad
	Cantidad de almidón	Biodegradabilidad
		Grado de tracción
Tiempo de secado	Permeabilidad	

Realizado por: Robalino, K. 2022

## 1.6 Operación de Variables

**Tabla 2-1:** Operación de Variables

Aspectos Generales				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
<p>La importancia de los plásticos radica en que debido a su uso en el almacenaje y transporte de un sin número de objetos ha aumentado su demanda durante los últimos años y por ende la cantidad de residuos sólidos provenientes de plásticos también crece convirtiéndolo en un peligro para la salud y la supervivencia del planeta, pues cada vez se ven más afectados los ecosistemas que nos rodean. Es por ello que dentro de las estrategias planteadas para el control del consumo y producción de estos materiales está la elaboración de bioplásticos, los cuales al tener como materia prima recursos renovables permite que sea amigable con el ambiente y pueda recibir un tratamiento adecuado al final de su vida útil.</p>		<p>Elaborar un biofilm a partir de la mezcla de almidón de Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y Yuca (<i>Manihot esculenta</i>) para uso como embalaje de alimentos.</p>		<p>Se puede obtener un biofilm a partir del almidón extraído de Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y Yuca (<i>Manihot esculenta</i>) como materia prima, que pueda ser utilizado como envoltura en el embalaje de alimentos.</p>
Aspectos Específicos				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	VARIABLES	Técnica de Recolección de Datos
<p>Aunque las actuales investigaciones para encontrar en diversos recursos naturales la factibilidad de extraer almidón que pueda ser usado en diversos campos ha ido aumentando, habiendo un reciente interés en usar tubérculos como la yuca y la mashua para este fin gracias a que en su composición presenta una</p>	<p>Extraer el almidón de Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y Yuca (<i>Manihot esculenta</i>), según el método estadístico 2<sup>k</sup>, para su uso como materia prima.</p>	<p>El porcentaje de rendimiento en la obtención de almidón tanto de la mashua como de la yuca puede variar según el tratamiento que se siga para su extracción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de materia prima</li> <li>• Tiempo de secado</li> <li>• Temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secado en estufa</li> <li>• Medición del tiempo</li> <li>• Revisión bibliográfica</li> </ul>
<p>Realizar la caracterización fisicoquímica tanto del almidón de mashua como de yuca según la</p>	<p>Según los ensayos fisicoquímicos de solubilidad, pH y residuos por calcinación, se determinará si el</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Solubilidad</li> <li>• Ceniza</li> <li>• Humedad</li> <li>• Densidad aparente</li> </ul>	<p>Métodos señalados en la Norma NTE INEN 1456</p>	

<p>considerable cantidad de almidón.</p> <p>A su vez, para establecer si este almidón cumple con los requisitos de calidad necesarios para su uso en la obtención de un biofilm es necesario realizar su caracterización fisicoquímica.</p>	<p>Norma INEN 1456 referente a los Métodos de Análisis en Almidón Soluble.</p>	<p>almidón cumple con los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1456 y así pueda ser utilizado como materia prima en la elaboración de un plástico biodegradable a nivel de laboratorio.</p>		
<p>En los trabajos relacionados con la elaboración de plásticos biodegradables no detallan una formulación adecuada para las cantidades de aditivos y almidón.</p> <p>En consecuencia, es necesario realizar los ensayos requeridos para determinar si puede ser factible en el embalaje de alimentos.</p>	<p>Obtener la mejor formulación para el biofilm a partir de la mezcla de mashua y yuca mediante ensayos a nivel de laboratorio.</p>	<p>Con la variación de los aditivos y el almidón según el modelo estadístico 2<sup>k</sup> se hallará la formulación adecuada para obtener un plástico biodegradable con características óptimas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de aditivos y almidón</li> <li>• Tiempo de secado</li> </ul>	<p>Variación de la cantidad de aditivos y almidón de ambos tubérculos</p>
	<p>Validar el biofilm elaborado mediante la caracterización de sus propiedades físicas – mecánicas.</p>	<p>Las propiedades físico – mecánicas del biofilm permitirán establecer si este posee la calidad y requisitos adecuados para su uso en el embalaje de alimentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor</li> <li>• Permeabilidad</li> <li>• Humedad</li> <li>• Elongación</li> <li>• Biodegradabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica de la metodología recomendada para los ensayos.</li> <li>• Comparación entre el plástico biodegradable obtenido con un plástico común.</li> </ul>

Realizado por: Robalino, K. 2022

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

El aumento en la cantidad de residuos sólidos provenientes de plásticos se ha convertido en un peligro para la salud y la supervivencia del planeta, pues cada vez se ven más afectados los ecosistemas que nos rodean. Debido a eso, han surgido diversas investigaciones que buscan encontrar métodos y fórmulas que permitan reducir o eliminar la acumulación de plásticos.

#### **Sustitución del Plástico por Materiales Vegetales. El caso de las vajillas desechables. Una revisión.**

Según enuncia (Ledezma, 2020) en su recopilación bibliográfica de los métodos que se usan para la sustitución de los plásticos derivados de petróleo, este problema de contaminación tiene diferentes razones por la que se va agravando siendo la principal causa la lenta degradación, en general empiezan a degradarse a partir de los 450 años lo que conlleva a la acumulación de inmensas cantidades de plástico. Otro aspecto que agrava aún más la situación es que muchos de los productos que son fabricados son de un solo uso, de hecho, más de un 40% del plástico producido es desechable. Dentro de las estrategias planteadas están los proyectos que se encargan de dar valor agregado a los residuos plásticos cuando se encuentran ya acumulados; también están los diferentes tipos de reciclaje: el mecánico, el químico o el aprovechamiento de estos residuos como aporte energético; finalmente, se encuentra la sustitución por bioplásticos existiendo cada vez más proyectos que impulsan el uso de estos materiales.

#### **Nuevos materiales prometen sustituir al plástico en un futuro.**

Se conoce como bioplásticos a los materiales provenientes de recursos orgánicos como frutas, verduras y animales, es decir materiales renovables que sean biodegradables (Ecoembes, 2009). Dentro de las investigaciones realizadas en torno a este tema se han encontrado varios materiales que se podrían desempeñarse muy bien en el reemplazo parcial a los plásticos; el investigador Ernesto de la Torre considera que la quitina y otros biopolímeros serían capaces de sustituir parcialmente aquellos plásticos usados en el embalaje de alimentos, mientras que para Quiroz, el ácido poliláctico tiene mayores posibilidades de desarrollo, pero al no tener las mismas propiedades que el plástico común vuelve más complicado su tratamiento. (Rodríguez A. , 2019)

## **Síntesis y Caracterización de un Polímero Biodegradable a partir del Almidón de Yuca**

Como mencionan (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007, pág. 7) en esta investigación, los plásticos derivados de petróleo han llegado a auxiliar la mayor parte de necesidades relacionadas a la conservación y transporte de productos, dejando como consecuencia daños ambientales que permanecerán mucho tiempo, en otras palabras, el mayor problema de estos plásticos es su tiempo de degradación. Dentro del diseño experimental utiliza la metodología Taguchi, la cual, por medio de matrices permite obtener resultados representativos del experimento sin necesidad de hacer muchas repeticiones. El proceso inicia en un molino abierto a 24 rpm con una relación de velocidad entre rodillos de 1,08 a 1 y a una temperatura de 100°C. De este paso salen láminas que se convierten a gránulos que se llevan a una prensa de vulcanización con una presión de 100 bares y una temperatura de 60°C a 90°C durante un tiempo de 8 minutos. De las 18 muestras realizadas, llegó a la conclusión que, con 200 g de almidón de yuca, 131 mL de agua, 60 g de PVA, 35 mL de glicerina y 12 g de NaCl presenta buenas propiedades para trabajar en los equipos antes mencionados.

## **Evaluación de las Propiedades Fisicoquímicas de un Bioplástico Elaborado con Harina de Yuca Gelatinizada**

Como en todo el mundo, en Colombia el problema de los residuos plásticos se ha vuelto grave por lo que se ha dispuesto la quema de estas basuras como una medida de control, sin embargo, esta resolución también trae consigo problemas ambientales al emitir gases de efecto invernadero al medio ambiente. Por otra parte, no se puede optar por el reciclaje ya que la mezcla de plásticos en la formación de un producto dificulta su reutilización. Partiendo de esto, varios investigadores han propuesto elaborar plásticos tomando como materia prima almidón gracias a que su obtención es de bajo costo, a su alta disponibilidad y su biodegradabilidad. El problema surge de la alta higroscopicidad y la poca resistencia del almidón ha obstaculizado la comercialización de los bioplásticos elaborados a partir de este elemento. Debido a esto, (Bejarano, 2014) adiciona fibra en la elaboración de bioplástico como una alternativa para mejorar las propiedades del producto final. Según se indica en esta investigación, las propiedades del almidón sin ningún tipo de modificación se potencializan si se lo gelatiniza antes de la adición de los otros aditivos, pues favorece a la adhesión de todos los componentes. El proceso inicia con el secado de la yuca fresca para su posterior triturado y rallado, luego la harina conseguida pasa a un molino de martillos que permite la reducción de tamaño de las partículas y finalmente llega a un tamiz cilíndrico obteniendo el producto deseado. En la elaboración del bioplástico se inicia con suspensiones de

la harina de yuca en agua a un 30% p/p, las cuales se colocaron en un baño termostático a 75°C por 15 minutos hasta su gelatinización para luego añadir fibra de fique, anteriormente cortada, molida en un molino de martillos/cuchillos y tamizada, junto con plastificante y aditivos. La proporción utilizada fue 60% de harina gelatinizada, 25% fibra, 7,5% glicerol y 7,5% de aditivos con una agitación constante. Como último paso, se llevó a una prensa hidráulica 15g de la mezcla durante 5 minutos. Como resultado, la modificación de la temperatura y presión en la prensa si afectan en las propiedades mecánicas del bioplástico pues a mayores valores la flexión y tensión disminuyen.

### **Elaboración de una Película Plástica Biodegradable a partir del Almidón de Yuca y Pectina**

Como describen (Blanco, Caicedo, Caro, Centeno, & Rodríguez, 2017), en su investigación utilizaron almidón de yuca y pectina que se encuentra en desechos de cascaras de frutas por ser biopolímeros de fácil adquisición. Tomando la ventaja del almidón de yuca de tener una mayor viscosidad a comparación de otros almidones y el aporte del grado de esterificación de la pectina a la formación de un gel más fuerte, se empieza el proceso con la modificación química del almidón para mejorar las propiedades mecánicas débiles del mismo añadiendo ácido acético que reduce el tiempo de formación del gel y mejora la estabilidad a los cambios de temperatura. Según los resultados obtenidos, tanto el bioplástico elaborado solo con almidón como el bioplástico de almidón y pectina presentan flexibilidad y buena resistencia al rasgado, sin embargo, se notó que el segundo bioplástico presentó mejores propiedades de flexibilidad y transparencia.

### **Elaboración de Láminas Biodegradables a partir de los Residuos del Almidón de Yuca**

Esta investigación se basa en lo estipulado en el Principio del Buen Vivir o Sumak Kawsay dentro de la Constitución del Ecuador, artículo 278 literal 2 que incentiva a “Producir, intercambiar y consumir bienes y servicios con Responsabilidad Social y Ambiental”. Como menciona (Menoscal & Rodríguez, 2017), el procedimiento inicia con la mezcla del residuo del almidón de yuca junto con el ácido acético, la glicerina y el agua destilada hasta obtener una composición homogénea, seguido se calienta la mezcla a una temperatura de entre 90°C y 160°C por aproximadamente 40 minutos hasta alcanzar una consistencia adecuada. Posteriormente, se coloca la pasta en un molde hasta su secado a temperatura ambiente, por aproximadamente 4 días. Como resultado, el bioplástico obtenido utilizando 80% de residuo de almidón, 13% de agua, 0.3% de ácido acético y 6.7% de glicerina presenta un mayor tiempo de degradación, mientras que el conformado por 30% de residuo, 61% de agua, 0.5% de ácido acético y 8.5% de glicerina tiene un menor tiempo de degradación.

## **Efecto del Método de Extracción del Almidón de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) en las Características Físico – químicas y Reológicas**

En su investigación (Yungán, 2015, pág. 105) propone analizar el efecto del método de extracción sobre el rendimiento, parámetros físico – químicos y reológicos del almidón de mashua; para ello, en el método físico lo realiza a través del licuado y el rallado, mientras que el método químico lo realiza mediante la adición de hidróxido de sodio y ácido cítrico. Los métodos físicos empiezan con la selección y lavado de la materia prima, luego pasa al pelado, para después seguir al rallado (o al licuado según sea el caso), inmediatamente se filtra y decanta, donde finalmente se seca a 40°C o 60°C y se muele para una reducción de tamaño. Por otro lado, los métodos químicos son similares hasta el paso del licuado y filtrado de la materia prima, pero después de ello se adiciona 10g de NaOH/1 lt (o 9.61g de  $C_6H_8O_7$ /1 lt según sea el caso), para luego ser decantado, secado y finalmente molido. Otra variable utilizada fue la modificación del almidón, ya sea pregelatinizándolo con 75g de almidón en 75 ml de agua desionizada incubado a 65°C por 5 minutos; o mediante dextrinización que consiste en mezclar 75g de almidón con 60ml de HCl (0,1N) y secarlo a 50°C durante 32 h, para luego disolver este almidón seco en 75 ml de agua desionizada ajustando el pH a 7 con 8 ml de NaOH. Según los resultados obtenidos, en los métodos físicos el que presenta un mayor rendimiento de 3,7% es el licuado con una temperatura de secado de 60°C y pregelatinizado. De los métodos químicos, el que presentó mayor rendimiento fue con la aplicación de NaOH al 0,5% con una temperatura de secado de 60°C y pregelatinizado, obteniendo un 5,2%. Como conclusión se llegó que el mejor método fue el químico aplicando NaOH, ya que presentó mayor estabilidad y viscosidad por mayor tiempo junto con mejores características físico – químicas.

## **Diseño de un Proceso Industrial para la Obtención de Almidón a partir de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

En vista que la producción de trigo y cebada no cubre la demanda en el sector alimenticio, se ha visto la necesidad de buscar productos que posean características similares. Es por ello que (Tasgacho, 2018), en esta investigación propone utilizar la mashua como alternativa aprovechando sus beneficios medicinales y el aporte de vitaminas y minerales al cuerpo, además que su cultivo se adapta fácilmente a diferentes temperaturas y ecosistemas. Partiendo de esto, plantea extraer almidón de este tubérculo de manera industrial para ayudar a la conservación de sus propiedades. Después de realizados los cálculos de dimensionamiento para cada equipo del proceso de extracción, se concluyó que el material óptimo para elaborar los equipos es el acero inoxidable

ALISIS 304 ya que soporta la corrosión generada por los químicos añadidos durante el proceso, dimensionando los equipos a partir de un flujo de másico de 90.4288 Kg/día. Con un gasto total de producción de \$800, recomienda vender el producto a \$1.13 para tener una ganancia de \$0.13.

### **Elaboración y degradación de bioplástico de residuos de *Solanum tuberosum* y *Tropaeolum tuberosum* en lugares de baja temperatura**

En este estudio, (Minchola, 2019) utilizó los residuos de Tocosha (*Solanum tuberosum*) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) provenientes de un mercado en Oyón, Perú, para la elaboración de láminas de bioplástico. El primer paso fue extraer almidón por lo que después de ser recolectados, los residuos fueron lavados, licuados con agua destilada, filtrado, decantado y secado a temperatura ambiente. Posteriormente, variando la cantidad de almidón de Tocosha y Mashua en la mezcla procedió a obtener el bioplástico concluyendo que la lámina alcanzada con 50 g de almidón de Tocosha, 50 g de almidón de Mashua, 15 gotas de glicerina, 5 g de bicarbonato de sodio, 10 gotas de ácido acético y 100 mL de agua destilada presenta las mejores características para ser utilizado en la fabricación de envases con un promedio de degradación de 4 – 5 g de masa cada 10 días.

### **Desarrollo de un film bioplástico comestible para reducir el pardeamiento enzimático en frutas deshidratadas.**

Una de las aplicaciones para estas láminas de bioplásticos está en la conservación de los alimentos, así como lo menciona (Curubeto, 2016) en su trabajo, estos biofilms pueden ayudar en la reducción de la oxidación y pardeamiento en frutas deshidratadas, abriendo el camino para indagar más en este tema con el objetivo de mejorar ciertas características que pueden presentar estas laminas biodegradables bajo ciertas condiciones, y así se permita promover su uso a manera de ayudar en la disminución de la cantidad de residuos sólidos generados en todo el mundo en este sector de la industria.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Plásticos**

La palabra plástico se deriva del latín “*plasticus*” que significa “capaz de moldear” y del griego “*plastikos*” que significa “apto para moldear”. Son derivados principalmente de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón o el gas natural; siendo compuesto por largas cadenas de

carbono conocidas como polímeros que brindan algunas de sus únicas propiedades como ser duros como piedra, fuertes como el acero, transparentes como el vidrio, ligeros como la madera y elásticos como el caucho. Son precisamente estas largas moléculas la principal diferencia entre el plástico y otros materiales que también son moldeables como el vidrio, metales, o arcilla, pues contrario al primero, estos últimos están constituidos de moléculas cortas. (Eltayef, 2003, pág. 2)

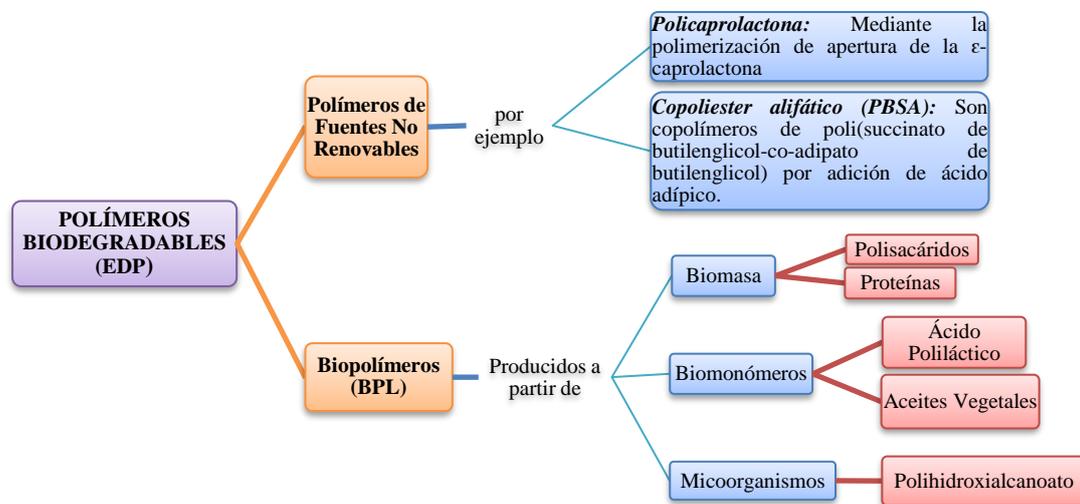
#### *2.2.1.1 Plásticos Biodegradables*

Según lo defina la Sociedad Americana para Materiales y pruebas, dentro de este grupo se encuentran aquellos plásticos que han sufrido un cambio significativo dentro de su estructura química y a consecuencia de factores como la presencia de microorganismos en su entorno, el efecto de la luz solar sobre ellos o por hidrólisis, terminan desintegrándose o reduciéndose a pequeñas partículas de tal manera que permite su unión a la biosfera. (Arevalo, 1996, pág. 16)

Según ha avanzado la investigación de plásticos biodegradables, se pueden señalar tres etapas en su desarrollo: la primera generación de materiales biodegradables consistió en la mezcla de polímeros con fuentes naturales de alimentación como el almidón; el segundo intento se concentró en la inserción de grupos funcionales tales como enlaces éster sobre la estructura de base polimérica, los cuales son sensibles al ataque microbiano; y el tercer avance es el desarrollo de materiales como el polihidroxibutirato (PHB) que es naturalmente sintetizado de bacterias que crecen en fermentadores, en un medio ambiente deficiente de un nutriente vital como el nitrógeno, fósforo, azufre u oxígeno. (Arevalo, 1996, pág. 17)

#### *2.2.1.2 Bioplásticos*

Son todos esos materiales elaborados a partir de recursos renovables, es decir materias orgánicas como residuos agrícolas (frutas y verduras), de origen forestal y animal. Los bioplásticos se encuentran dentro del grupo de los plásticos biodegradables, pues al igual que estos últimos, los bioplásticos terminan su vida útil con su degradación por la acción de microorganismos presentes en la naturaleza. La diferencia entre un plástico biodegradable y bioplástico radica en su origen, pues el primero puede elaborarse de recursos no renovables, mientras que los bioplásticos de recursos renovables. (Ecoembes, 2009, pág. 7)



**Ilustración 1-2:** Clasificación de los Plásticos Biodegradables (EDP)

Realizado por: Robalino, K. 2022

La principal diferencia del bioplástico frente a los plásticos convencionales radica en su degradación; el primero, además de ser degradable al 100%, el tiempo máximo estimado de degradación es de 1 año, mientras que el segundo no llega a degradarse por completo y puede tener un tiempo de degradación mayor a 100 años lo que se ve reflejado en la cantidad de residuos sólidos presentes en lagos y mares. (Pizá, Rolando, Ramirez, Villanueva, & Zapata, 2017, pág. 37)

### 2.2.2 Componentes para la elaboración de bioplásticos

Para hacer posible la elaboración de un bioplástico a partir de almidón, es necesario añadir ciertos aditivos en la mezcla que aseguren las características deseadas en el producto final. Estas características se refieren a plasticidad, humectación, espesantes, resistencia, lubricación y desmoldantes. (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007, pág. 61)

#### 2.2.2.1 Plastificante

La plasticidad hace referencia a la capacidad de un material para fluir o hacerse líquido bajo la influencia de una fuerza; y como lo describe la ASTM D883, un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para mejorar su flexibilidad. (Guamán, 2019, pág. 20)

- *Agua destilada*

Este tipo de agua es conocida como el plastificador que más abunda cuya función es alcanzar la desintegración estructural del almidón durante la preparación de la mezcla para generar un almidón termoplástico, el cual se emplea con la intención de conseguir propiedades mecánicas, así como también propiedades de barrera óptimas. (Guamán, 2019, pág. 20)

- *Glicerina*

Además del agua, la glicerina es un componente que brinda humectación al polímero. Es una sustancia viscosa, incolora, de sabor dulce y de olor característico, compuesta principalmente por alcohol el cual dispone de tres grupos hidroxilos (OH) y cuya fórmula molecular es  $C_3H_8O_3$ . De forma natural, se puede encontrar glicerina componiendo un 70 – 80% de los aceites de coco y palma. (Blanco, Caicedo, Caro, Centeno, & Rodríguez, 2017, pág. 4)

Precisamente estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua y le brinda a la glicerina la capacidad de ser un buen plastificante, es decir permite suavizar, humectar y aumentar la flexibilidad del biopolímero al cual sea añadido, en este caso el almidón. (Méndez, 2010)

#### 2.2.2.2 *Modificador químico*

La transformación química que sufre el almidón se da por la reacción que sufre el grupo funcional hidroxilo del polímero. Entre algunos ejemplos de transformaciones químicas que sean acoplables al almidón se encuentran la oxidación, la configuración de esteres, la hidrólisis del grupo hidroxilo y la reacción vía éter. La esterificación del polisacárido con el ácido orgánico es una de las modificaciones más veleidosa de este biopolímero. (Guamán, 2019, pág. 20)

- *Ácido acético*

Conocido también como ácido etanoico, es un líquido incoloro con formula molecular  $C_2H_4O_2$ . Se trata de un aditivo sugerido que actúa como modificador químico, debido a que mediante una esterificación permite reducir la naturaleza hidrofílica del almidón, otorgándole particularidades hidrofóbicas a dicho material con cual se trabaje y así obtener cambios en las propiedades mecánicas y térmicas. (Rosales, 2016, pág. 25)

### 2.2.2.3 *Otros*

El **alcohol polivinílico** se presenta en forma de gránulos o polvo blanco el cual una vez que se caliente forma un gel. Entre sus propiedades están que es inodoro, es biodegradable, tiene alta resistencia y flexibilidad y es un buen modificador reológico por lo que es comúnmente utilizado como un plastificante, junto con la glicerina y agua destilada, en la elaboración de bioplástico. (Blanco, Caicedo, Caro, Centeno, & Rodríguez, 2017, pág. 4)

### 2.2.3 *Almidón*

El almidón es un carbohidrato muy abundante en plantas producido en forma de gránulos siendo un importante producto de almacenamiento de energía en semillas y otros órganos. Representa aproximadamente el 80% de las calorías consumidas por humanos y es usada como componente en la elaboración de productos para la industria como gelificante, adhesivo, conservante de algunos alimentos, ligante, entre otros. (Bernal & Martínez, 2006, pág. 78)

Este almidón de almacenamiento es producido en los amiloplastos como gránulos que tienen morfología distinta según la planta de la cual provenga, pueden ser redondos, ovalados, ojivales o alargados, lenticular o poliédrico, con tamaños que van desde submicrones hasta más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro. (Bertoft, 2017, pág. 1)

De igual manera, el destino del almidón producido es diferente según la planta de origen, por ejemplo en tubérculos, raíces y embriones puede acumularse por periodos muy largos de tiempo, en meristemas y en órganos en desarrollo puede almacenarse por días o semanas y en las hojas se acumula durante el día y se degrada en la noche.

#### 2.2.3.1 *Fuentes principales de almidón*

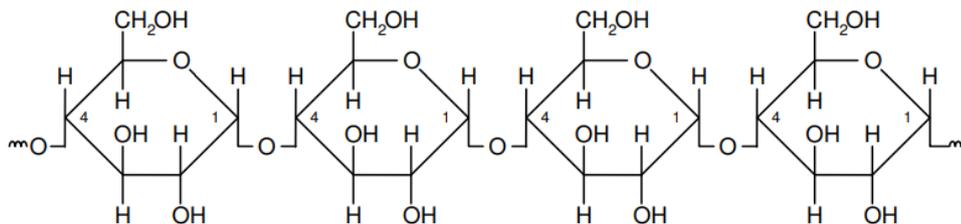
El almidón proviene de distintas fuentes botánicas tales como cereales, leguminosas, raíces y tubérculos y frutas inmaduras. El origen botánico determina tamaño y forma de los gránulos, además de repercutir en algunas propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales, por ejemplo gránulos de mayor tamaño pueden generar una mayor viscosidad y los gránulos de menor tamaño pueden generar mayor digestibilidad. Los gránulos de almidón de cereales como el maíz presentan una forma esférica con tamaño pequeño (5  $\mu\text{m}$ ) y grande (20  $\mu\text{m}$ ); mientras que los gránulos de almidón de cebada presentan forma esférica y pequeña (2-5  $\mu\text{m}$ ) y lenticulares y grandes (15-25  $\mu\text{m}$ ). Por otro lado, los gránulos de almidón de frutas como el mango tienen una forma esférica y de un tamaño de 5-12  $\mu\text{m}$ . (Casarrubias, Méndez, Rodríguez, Sánchez, & Bello, 2012, pág. 459)

### 2.2.3.2 Estructura del almidón

Los gránulos de almidón consisten casi en su totalidad en dos polisacáridos principales conocidos como amilosa y amilopectina. Ambos polisacáridos consisten cadenas de D – glucosa enlazados en  $\alpha$  - (1,4) interconectados a través de enlaces  $\alpha$  - (1,6) – glucósidicos, formando ramificaciones en los polímeros. Las moléculas de amilosa contienen pocas ramificaciones, pero sus cadenas son largas con cientos de unidades de glucosilo, mientras que la amilopectina tiene muchas ramificaciones, pero sus cadenas son cortas. (Bertoft, 2017, pág. 1)

- *Amilosa*

La amilosa es el componente menor, lineal o ligeramente ramificado del almidón. En general, las moléculas de amilosa ramificadas son más grandes que sus contrapartes lineales (Bertoft, 2017, pág. 5). Las moléculas de amilosa se encuentran generalmente en las capas interiores del gránulo conformadas por alrededor de 200 a 20.000 moléculas de glucosa que están unidas por enlaces glucósidicos  $\alpha$  - (1,4) en cadenas que no ramificadas, o enrolladas en forma de hélice. Incluso algunas moléculas de amilosa son conformada por solo de entre 0,3 a 0,5% de ramificaciones  $\alpha$  – D – (1,6). Al tener grandes distancias entre ellas, da paso a que la molécula pueda actuar como un polímero lineal, formando películas y permitiendo que la retrogradación se dé fácilmente. (Ruiz, 2006, pág. 7)



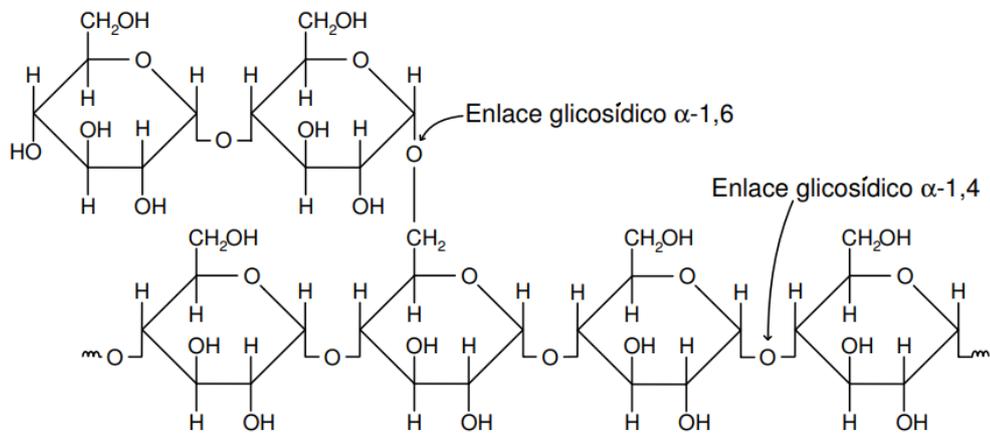
**Ilustración 2-2:** Segmentos de una molécula de Amilosa

**Fuente:** Ruiz, G. 2006, pág. 8

- *Amilopectina*

La amilopectina es el componente principal y altamente ramificado del almidón. El tamaño de la amilopectina es mucho mayor que el de la amilosa (Bertoft, 2017, pág. 7). La amilopectina, contrario a la amilosa, se encuentra situada en las capas exteriores. Se diferencia de la molécula de amilosa al contener tanto enlaces  $\alpha$  - (1,4), como enlaces  $\alpha$  - (1,6) que constituyen entre el 4 y 5% del total de los enlaces. Estas moléculas pueden tener entre 10.000 y 20'000.000 unidades de glucosa, lo que conlleva a que el peso molecular sea mucho más grande con un valor entre 10.000 a 1.000

millones g/mol, a comparación de del peso de la molécula de amilosa que oscila entre 0,1 y un millón g/mol. (Ruiz, 2006, pág. 8)



**Ilustración 3-2:** Segmento de una molécula de Amilopectina

Fuente: Ruiz, G. 2006, pág. 9

#### 2.2.4 Cambios hidrotérmicos producidos en el almidón

Es importante mantener el control de la temperatura, sobre todo cuando se aplique en pocos volúmenes de agua, pues al calentarse los gránulos de almidón absorben el agua, evitando que los gránulos aun fríos puedan abrirse. (Arias, 2019, pág. 4)

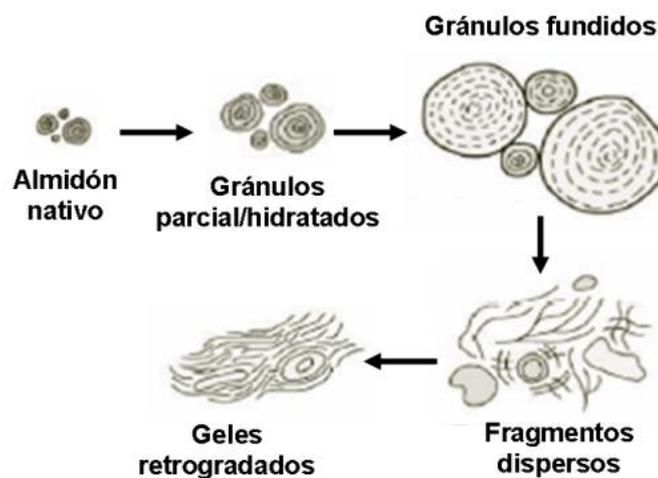
##### 2.2.4.1 Gelatinización

Puede definirse a la gelatinización como la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón al someterse a altas temperaturas con grandes cantidades de agua. (Ruiz, 2006, pág. 9)

En otras palabras, es el proceso donde los gránulos de almidón, que generalmente son insolubles en agua fría debido a su organizada estructura, son sometidos a calor y comienzan a absorber el agua en las zonas intermicelares amorfas que no son tan organizadas como la estructura completa. Según se incrementa la temperatura, aumentará el volumen del gránulo como consecuencia de una mayor retención de agua, hasta llegar a una cierta temperatura donde en su volumen máximo pierden su patrón de difracción de rayos X, es decir provocan la ruptura de su orden molecular. (Arias, 2019, pág. 4)

El intervalo de temperatura donde los gránulos se hinchan por la absorción de agua es conocido como rango de gelatinización. Dentro de la gelatinización existen tres procesos que se manifiestan por el no equilibrio en la estructura, estos son:

- a) La difusión del agua dentro del gránulo de almidón debido al rompimiento de los puentes de hidrogeno en la región amorfa de la estructura, lo que permite que los grupos hidroxilos libres se coliguen con el agua,
- b) La fusión de la región amorfa, en donde las cadenas de amilosa pasan a difundirse en el agua presente aumentando su movilización dentro del gránulo,
- c) Debido a la prolongada exposición al calor se disocian las dobles hélices de la amilopectina, hasta que pierde su estructura. La amilosa que se encuentra fuera del granulo forma una malla tridimensional obteniendo un gel. (Tovar, 2008, pág. 31)



**Ilustración 4-2:** Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua

Fuente: Tovar, T. 2008, pág. 31

#### 2.2.4.2 Retrogradación

Es la precipitación e insolubilización de las moléculas de amilosa, puesto que sus cadenas lineales se ordenan análogamente por medio de puentes de hidrogeno. (Guamán, 2019, pág. 17)

En esta etapa las moléculas de almidón gelatinizado empiezan a reordenarse, es decir pasan de un estado amorfo a uno cristalino formando estructuras organizadas. La retrogradación depende de factores como el tipo y la concentración de almidón, tiempo de cocimiento y enfriamiento, pH y la presencia de solutos. Este proceso consiste en dos etapas: cuando se calienta una disolución que contiene cadenas de amilosa que se encuentran en el gránulo y al orearse a temperatura ambiente comienzan a gelarse, y la recrystalización de la amilopectina. El endurecimiento de los productos se da más lentamente dependiendo del contenido de la humedad dentro del almidón. (Tovar, 2008, pág. 31)

### 2.2.5 Yuca

La yuca (*Manihot esculenta*), conocida también como mandioca en Argentina, Brasil y Paraguay, cassava en países anglo parlantes, guacamote en México, aipi y macacheira en Brasil y mhogo en los países de África oriental; es un tubérculo perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*, misma a la cual pertenece el caucho, arbustos como el ricino, y numerosas plantas ornamentales, medicinales y malezas, que tiene como característica el desarrollo de vasos laticíferos que producen una secreción lechosa. (Aristizábal, Sánchez, & Mejía, 2007, pág. 1)



**Ilustración 5-2:** Planta de Yuca

**Fuente:** Aristizábal, Sánchez, & Mejía, 2007, pág. 1

#### 2.2.5.1 Descripción Botánica

Es un tipo de árbol leñoso que puede llegar a medir 5 a 10 cm de diámetro en la parte superior y de 15 a 30 cm de largo. La raíz de la yuca está compuesta por tres tejidos los cuales son: el peridema o cascarilla conformada por las células muertas de la raíz, seguida del parénquima cortical o corteza que tiene un espesor de 1 a 2 mm con distintos colores como el rosa, crema o blanca y por último el parénquima interior o la pulpa que contiene abundantes nutrientes. Aunque el principal interés de la yuca son sus raíces, las hojas de la planta también son utilizadas como alimento para humanos y animales. (Chimbo, 2021, pág. 6)

**Tabla 1-2:** Clasificación Taxonómica de la Yuca

<b>REINO</b>	Plantae
<b>DIVISIÓN</b>	Magnoliophyta
<b>SUBDIVISIÓN</b>	Angiospermae
<b>CLASE</b>	Magnoliopsida
<b>ORDEN</b>	Euphorbiales
<b>FAMILIA</b>	Euphorbiaceae
<b>SUBFAMILIA</b>	Crotonoideae
<b>TRIBU</b>	Manihoteae

<b>GÉNERO</b>	Manihot
<b>ESPECIE</b>	<i>Manihot esculenta</i> Krantz

Fuente: Chimbo, M. 2021, pg. 7

Debido a que contienen glucósidos cianogénicos, la raíz y la savia son las partes más tóxicas de la planta de yuca, y al ingresar al tracto gastrointestinal de humanos o animales, liberan ácido cianhídrico. Esta es la principal diferencia entre la yuca dulce y la yuca amarga, ya que en la primera los cianogénicos se encuentran en la concha de la raíz mientras que en la segunda el contenido de cianogénicos es alto en toda la raíz. (Sulbarán, 2017)

#### 2.2.5.2 Producción de Yuca

La yuca puede crecer en varias condiciones climáticas, desde los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas hasta los subtrópicos con inviernos fríos. En Ecuador, es cultivada cerca del nivel del mar hasta los 1620 msnm. El rango de temperatura va como mínimo desde los 17°C hasta los 30°C, y en suelos que tengan buen drenaje valor de pH que se encuentre entre 5.5 y 7.5. (Hinostraza, Mendoza, Navarrete, & Muñoz, 2014, pág. 5)

#### 2.2.6 Mashua

La *Tropaeolum tuberosum*, o conocida como Mashua en Ecuador y Perú, isaño o mascho en Perú y cubio, navo o navíos en Colombia, es un tubérculo originario de los Andes Centrales que se encuentra después de la papa, oca y olluco como un tubérculo nutricional. Tiene cualidades de repelente de insectos, nematodos y otros patógenos. (Yungán, 2015, pág. 2)



**Ilustración 6-2:** Fruto y follaje de la planta de Mashua

Fuente: Yungán, A. 2015, pág. 2

##### 2.2.6.1 Descripción Botánica

La mashua es una planta de tallos cilíndricos que posee un follaje compacto con hojas verdosas redondeadas. Sus flores pueden ir desde colores anaranjados hasta un rojo oscuro, y los tubérculos

miden de 5 a 15 cm de largo, tienen forma cónica alargada, yemas profundas además de varios colores como el amarillo, blanco, morado y negro. (Samaniego, 2010, pág. 8)

**Tabla 2-2:** Clasificación Taxonómica de la Mashua

<b>REINO</b>	Vegetal
<b>TIPO</b>	Fanerógamas
<b>SUBTIPO</b>	Angiospermas
<b>CLASE</b>	Dicotiledoneae
<b>ORDEN</b>	Geraniales
<b>FAMILIA</b>	Tropaeoláceae
<b>GÉNERO</b>	Tropaeolum
<b>ESPECIE</b>	Tuberosum

**Fuente:** Samaniego, L. 2010, pg. 9

Al igual que en la mostaza y los rabanitos, la mashua contiene isotiocianatos que le dan un sabor acre y picante característico, pero que desaparece con la cocción tornándose dulce. Dentro de su composición química, también cuenta con una gran cantidad de vitamina C, además de fósforo que favorece a huesos y dientes, siendo recomendable para personas que padezcan de problemas renales y hepáticos. (Samaniego, 2010, pág. 10)

#### 2.2.6.2 Producción de Mashua

La planta de Mashua tiene una gran resistencia al frío por lo que crece entre los 2400 a 4300 msnm, con una temperatura óptima de plantación de la mashua varía de 12 – 14°C, tolerando temperaturas demasiadas frías de alrededor de 4°C hasta cerca de los 20°C.

Puede ser cultivada en suelos pobres, sin necesidad de fertilizantes y pesticidas, e incluso puede duplicar el rendimiento de producción de la papa. Dentro de los requerimientos está que el pH debe ser ligeramente ácido con un valor entre 5 – 6, pudiendo desarrollarse dentro de los 5.3 – 7.5. (Samaniego, 2010, pág. 11)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo y Diseño de Investigación

##### 3.1.1 Tipo de Investigación

Este trabajo de investigación es de tipo exploratorio, pues se pretende analizar y encontrar el procedimiento viable para extraer almidón a partir de la mashua y la yuca, cuya calidad será determinada por métodos ya establecidos según la Norma INEN NTE 1456, y que pueda ser utilizado como materia prima en la obtención de un biofilm, realizando distintas experimentaciones con la concentración de los aditivos para llegar a una formulación adecuada, y mediante la realización de los ensayos necesarios llegar a concluir si este biofilm es factible para ser usado en el embalaje de alimentos, y de igual manera, el producto alcanzado permitirá que los datos ganados sirvan para investigaciones futuras relacionadas con el tema.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación está diseñada de manera experimental en la cual, dentro de la etapa de extracción del almidón en la mashua y en la yuca, se controla variables como el tiempo de trituración y la revolución de licuado, sin dejar de lado factores como la cantidad de materia prima y el volumen de agua necesarios; además, para la fase de obtención del biofilm también se realizan diferentes pruebas variando la concentración del almidón al igual que la cantidad de plastificante, en este caso glicerina, para ver su comportamiento frente a factores como la cantidad de ácido acético y de agua a utilizar.

Por lo tanto, el Diseño Factorial  $2^k$  puede definirse como el diseño experimental más adecuado para conocer simultáneamente que efecto tienen las variables de esta investigación sobre el producto esperado y si interaccionan entre sí. En la extracción del almidón se busca llegar al tratamiento que brinde un mejor rendimiento, por lo que el diseño factorial en esta etapa sería A: Tiempo de trituración (siendo – “30 segundos” y + “60 segundos”) y B: Revolución de licuado (siendo - “baja” y + “alta”); mientras que para la obtención del biofilm se analiza la combinación que aporte las mejores características para su aplicación en alimentos por lo que los factores para el diseño experimental sería A: Cantidad de Glicerina (siendo – “2 mL” y + “3 mL”) y B: Concentración de almidón (siendo – “3 g” y + “4 g”).

Teniendo como posibles combinaciones:

**Tabla 1-3:** Diseño Experimental para la Investigación

Orden Estándar	Factor A	Factor B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Realizado por: Robalino, K. 2022

### 3.2 Unidad de Análisis

Los objetos de estudio en esta investigación son la extracción del almidón proveniente de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y Yuca (*Manihot esculenta*), los cuales serán caracterizados según los métodos de ensayo detallados en la Norma NTE INEN 1456; así como la formulación en la obtención del plástico biodegradable a partir del almidón obtenido y aditivos para posteriormente analizar la calidad del material a través de sus propiedades físico – mecánicas.

### 3.3 Población, Selección y Cálculo del Tamaño de la Muestra

#### 3.3.1 Población de Estudio

La población de estudio de esta investigación está conformada por las materias primas, Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y por Yuca (*Manihot esculenta*) obtenidas en el Mercado “San Alfonso” y en el Centro Comercial “La Condamine”, mercados localizados en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, en donde se seleccionaran las que presenten buenas características organolépticas.

#### 3.3.2 Selección de la Muestra

Para la selección de la muestra:

- Visitar los principales mercados de la ciudad de Riobamba para identificar aquellos donde estos tubérculos sean accesibles.
- Observar que la materia prima cumpla con ciertos parámetros como la coloración, en el caso de la mashua una coloración anaranjada – amarillenta y en la yuca una coloración blanquinosa en la parte interna del tubérculo, el olor, la textura, que se encuentre en buen estado, es decir, que no presente signo de golpe o daño alguno, y lo más importante que no presente moho u otro signo que muestre que la materia prima no esté fresca.

- Por último, realizar una segunda revisión de la materia en el lavado y corte para verificar su estado y frescura.

### 3.3.3 *Tamaño de Muestra*

Para la determinación del tamaño de muestra en la extracción de almidón se realizó una tabla describiendo los tratamientos a realizar según las variables importantes de este proceso y así llegar al trato más óptimo para un mayor rendimiento. Teniendo como base para cada tratamiento 250 gramos de materia prima tenemos:

**Tabla 2-3:** Tratamientos en la Extracción de almidón

Tratamiento	Velocidad	Tiempo	Repeticiones	Materia prima
1	Velocidad 1 (baja)	Tiempo 1 (30 seg)	4	1 Kg
2	Velocidad 1 (baja)	Tiempo 2 (60 seg)	4	1 Kg
3	Velocidad 2 (alta)	Tiempo 1 (30 seg)	4	1 Kg
4	Velocidad 2 (alta)	Tiempo 2 (60 seg)	4	1 Kg
TOTAL				4 Kg

**Realizado por:** Robalino, K. 2022

Por lo que, en la etapa de extracción de almidón son necesarios 4 Kg de mashua y 4 Kg de yuca. Para la fase de elaboración, debido a la baja cantidad de almidón presente en la mashua son necesarios 10 Kg de este tubérculo y 5 Kg de yuca adicionales.

## 3.4 **Técnicas de Recolección de Datos**

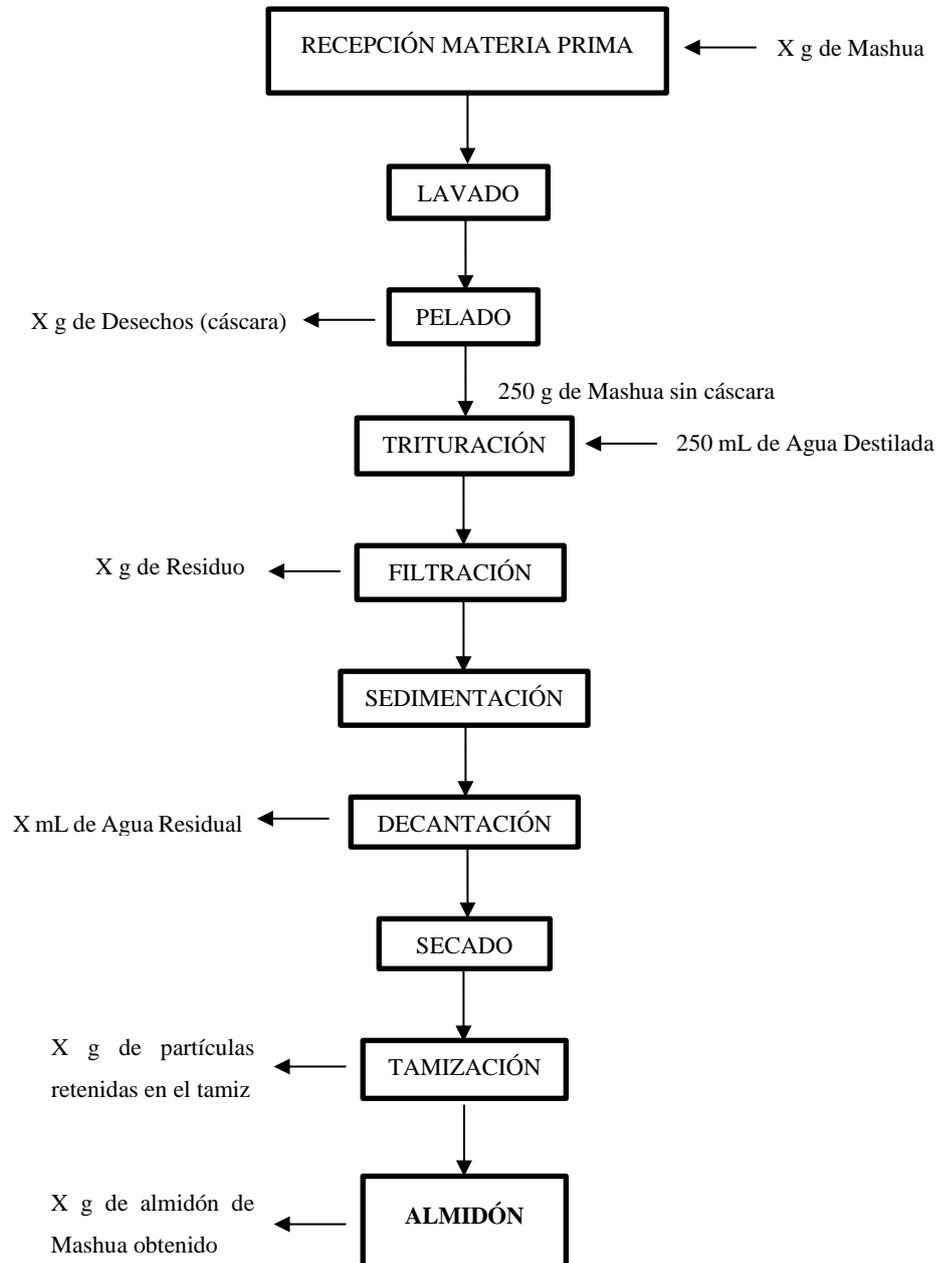
En la presente investigación se revisó previamente Artículos Científicos y Libros Electrónicos relacionados con la extracción de almidón y la elaboración de bioplásticos, para luego recolectar datos de manera experimental a nivel de laboratorio que sean relevantes y necesarios al momento de reportar los resultados.

### 3.4.1 *Extracción de almidón:*

En la extracción del almidón, tanto de la mashua como de la yuca, se varió el tiempo de licuado y la revolución de la licuadora, repitiendo cada tratamiento cuatro veces para una mayor precisión. Posteriormente, se caracterizó los almidones obtenidos siguiendo los ensayos establecidos en la Norma NTE INEN 1456

### 3.4.1.1 Método de Extracción del Almidón de Mashua

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para la extracción del almidón de Mashua:



**Ilustración 1-3:** Proceso de Extracción de Almidón de Mashua

Realizado por: Robalino, K. 2022

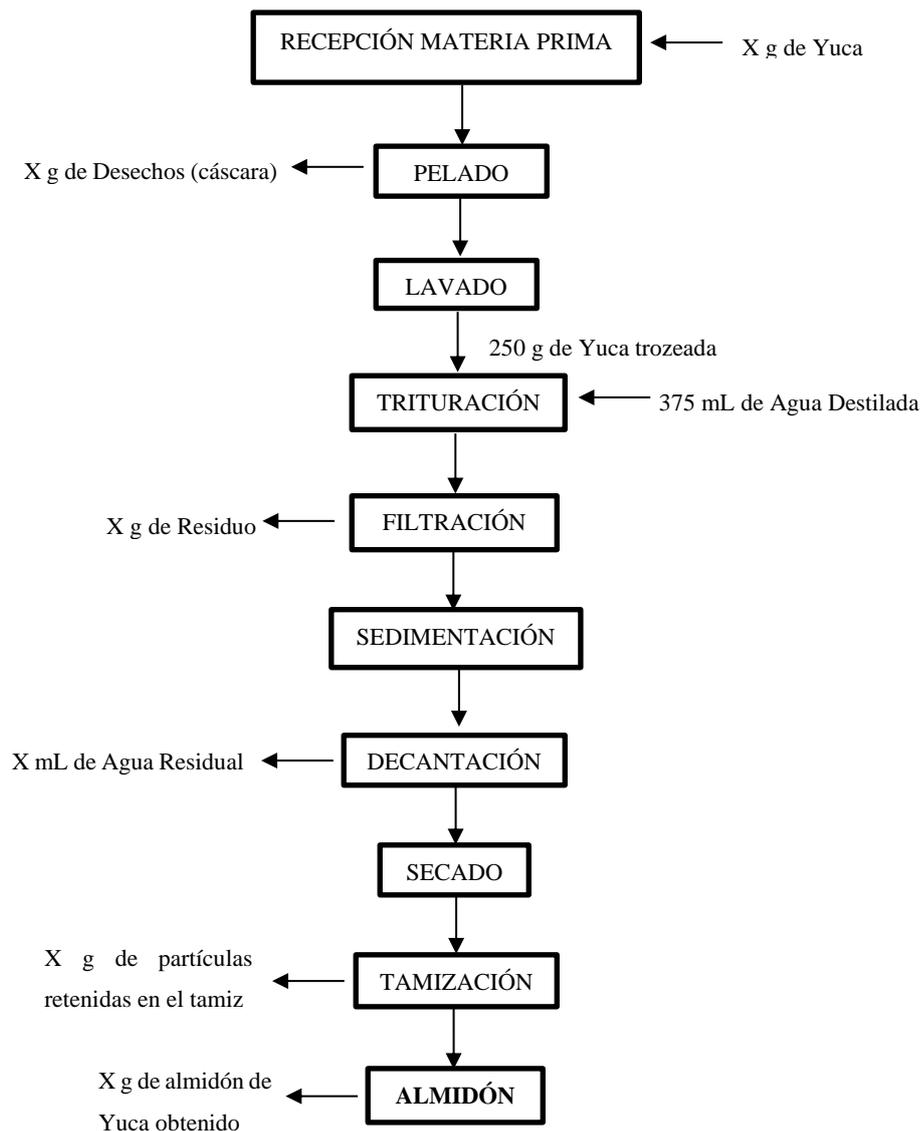
- **Recepción de la Materia Prima:** Se selecciona la materia prima que presente las características organolépticas adecuadas como que la mashua tenga buen color, en este caso un amarillo anaranjado uniforme, que no se observe daños ni golpes, que no esté apolillada y sobre todo que no tenga moho.

- **Lavado:** Con el fin de eliminar impurezas como tierra y mantener la inocuidad de la materia prima, se realiza un lavado con abundante agua potable añadiendo una pequeña cantidad de cloro comercial.
- **Pelado y corte:** Se separa la cáscara de la parte interna del tubérculo para eliminar impurezas y las partes que no se encuentren en buen estado. También, se corta el tubérculo en trozos pequeños para ayudar a una mejor trituración.
- **Trituración:** Se tritura los trozos de la mashua con ayuda de una licuadora y añadiendo agua destilada (en una proporción 1:1), verificando la velocidad de licuado y el tiempo de trituración.
- **Filtración:** Con una malla fina o un cedazo se separa el residuo de la trituración del líquido y proteína resultante de la etapa anterior.
- **Sedimentación:** En un recipiente se deja reposar el líquido resultante por alrededor de 7 a 9 horas para que el almidón se sedimente y así poder retirarlo.
- **Decantación:** Después del tiempo de sedimentado se procede a la separación del líquido sobrenadante del almidón con extremo cuidado para no levantar lo asentado.
- **Secado:** En una estufa a una temperatura de 70°C se deja secar el almidón por alrededor de 9 – 10 horas para después ser molido y así obtener un producto fino con tamaño de partícula uniforme mediante el uso de un mortero y pistilo.
- **Tamizado:** Una vez reducido el tamaño de partícula, se pasa el almidón por tamices que separen las partículas grandes de las pequeñas.

Por último, se envasa el almidón obtenido en un recipiente hermético para una mejor conservación del mismo.

#### *3.4.1.2 Método de Extracción del Almidón de Yuca*

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para la extracción del almidón de Yuca:



**Ilustración 2-3:** Proceso de Extracción de Almidón de la Yuca

**Realizado por:** Robalino, K. 2022

- **Recepción de la Materia Prima:** Se selecciona los tubérculos que presenten las mejores características para ser utilizada como materia prima, la yuca debe tener buen color, en este caso un blanco amarillento uniforme en su interior, que no se observe daños ni golpes y sobre todo que no tenga moho.
- **Lavado:** Con el fin de eliminar impurezas como tierra y mantener la inocuidad de la materia prima, se realiza un lavado con abundante agua potable añadiendo una pequeña cantidad de cloro comercial.
- **Pelado y corte:** Se separa la cáscara de la parte interna del tubérculo para eliminar impurezas, separar la raíz de la yuca y las partes que no se encuentren en buen estado. También, se corta el tubérculo en trozos pequeños para ayudar a una mejor trituración.

- **Trituración:** Se tritura los trozos de la yuca con ayuda de una licuadora y añadiendo agua destilada (en una proporción 1:1,5), verificando la velocidad de licuado y el tiempo de trituración.
- **Filtración:** Con una malla fina o un cedazo se separa el residuo de la trituración y las partículas grandes del líquido y proteína resultante de la etapa anterior.
- **Sedimentación:** En un recipiente se deja reposar el líquido resultante por alrededor de 4 a 6 horas para que el almidón se sedimente y así poder retirarlo.
- **Decantación:** Después del tiempo de sedimentado se procede a la separación del líquido sobrenadante del almidón con extremo cuidado para no levantar lo asentado.
- **Secado:** En una estufa a una temperatura de 70°C se deja secar el almidón por alrededor de 9 – 10 horas para después ser molido y así obtener un producto fino con tamaño de partícula uniforme mediante el uso de un mortero y pistilo.
- **Tamizado:** Una vez reducido el tamaño de partícula, se pasa el almidón por tamices que separen las partículas grandes de las pequeñas.

Por último, se envasa el almidón obtenido en un recipiente hermético para una mejor conservación del mismo.

### 3.4.1.3 Caracterización físico química del almidón de Mashua y Yuca

**Tabla 3-3:** Caracterización físico química del almidón de Mashua y Yuca

<b>PRUEBA DE LUGOL</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubos de ensayo</li> <li>• Almidón de mashua</li> <li>• Almidón de yuca</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Solución de Lugol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se agrega 3 g aproximadamente de almidón en un tubo de ensayo.</li> <li>• Se añade 3 mL de agua destilada en el tubo de ensayo.</li> <li>• Se adiciona 2 gotas de solución de Lugol (añadir más gotas de ser necesario).</li> <li>• Se espera a ver el tono o color que toma la muestra en el tubo de ensayo.</li> </ul>	La medición es cualitativa
<b>Resultados Esperados</b>		
Se considera un almidón puro cuando al agregar una o dos gotas de la solución de Lugol se torna en un color azul-violeta o azul-oscuro, mientras más oscura sea la solución mayor pureza presenta.		
<b>PRUEBA DE SOLUBILIDAD</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Malla de asbesto</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Varilla de agitación</li> <li>• Probeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 2 g de almidón.</li> <li>• En un vaso de precipitación colocar 5 mL de agua destilada fría.</li> <li>• Añadir el almidón pesado anteriormente al vaso con agua y agitar.</li> <li>• En otro vaso de precipitación hervir 100 mL de agua destilada.</li> </ul>	El resultado es cualitativo, según la Norma NTE INEN 1456.

<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón de mashua</li> <li>Almidón de yuca</li> <li>Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transferir la suspensión preparada sobre el vaso que contiene el agua hirviendo.</li> <li>Dejar sobre el calor durante 2 minutos con agitación constante.</li> </ul>	
<b>Resultados Esperados</b>		
Si se observará si presenta una ligera opalescencia que se debe mantener sin intensificarse incluso después de enfriarse.		
<b>PRUEBA DE pH</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>pHmetro</li> <li>Balanza analítica</li> <li>Vaso de precipitación</li> <li>Papel absorbente</li> <li>Almidón de mashua</li> <li>Almidón de yuca</li> <li>Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibrar y verificar el pHmetro ingresando los electrodos en una solución tampón y ajustar el control a los parámetros indicados.</li> <li>Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente.</li> <li>En un vaso de precipitación disolver 2 g de almidón en 100 mL de agua destilada.</li> <li>Sumergir los electrodos en la solución y medir el pH.</li> </ul>	El pHmetro muestra en su pantalla directamente el valor de pH de la muestra ingresada, según la Norma NTE INEN 1456.
<b>Resultados Esperados</b>		
Cabe señalar que la muestra debe estar dentro del rango de 5,0 y 7,0 para considerarse exitosa.		
<b>RESIDUOS POR CALCINACIÓN</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estufa</li> <li>Mufla</li> <li>Crisoles</li> <li>Pinzas para crisol</li> <li>Desecador</li> <li>Balanza analítica</li> <li>Almidón de mashua</li> <li>Almidón de yuca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para retirar la humedad en los crisoles es necesario ingresarlos en la estufa con anticipación.</li> <li>Colocar el crisol en un desecador hasta que se enfríe.</li> <li>Tomar el peso del crisol vacío. Colocar 1 g de muestra y llevarlo a la mufla que se encuentra a 550°C durante 5 horas.</li> <li>Sacar el crisol y colocarlo en un desecador hasta enfriar.</li> <li>Pesar la ceniza resultante.</li> <li>Repetir el proceso hasta obtener una masa constante.</li> </ul>	<p>Se aplica la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de ceniza:</p> $\%C = \frac{m_2 - m_c}{m_1 - m_c} * 100$ <p>Donde:</p> <p>%C = Porcentaje de ceniza</p> <p><math>m_c</math> = Peso del crisol vacío (g)</p> <p><math>m_1</math> = Peso del crisol con la muestra inicial (g)</p> <p><math>m_2</math> = Peso del crisol con la ceniza resultante (g)</p>
<b>Resultados Esperados</b>		
El residuo obtenido no debe ser mayor que 0.40 g/100 g.		
<b>HUMEDAD DEL ALMIDÓN</b>		
Procedimiento 1		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Estufa</li> <li>Desecador</li> <li>Capsula</li> <li>Almidón de mashua</li> <li>Almidón de yuca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para retirar la humedad en las capsulas es necesario ingresarlos en la estufa con anticipación.</li> <li>Colocar la capsula en un desecador hasta que se enfríe.</li> <li>Tomar el peso de la capsula vacía. Colocar 10 g de almidón y llevarlo a la estufa a 70°C por 24 horas.</li> </ul>	<p>Se aplica la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de humedad:</p> $\%H = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100$ <p>Donde:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sacar la capsula y colocarla en un desecador hasta enfriar.</li> <li>• Pesar la muestra resultante.</li> </ul>	<p><math>\%H</math> = Porcentaje de Humedad</p> <p><math>P_1</math> = Peso capsula vacía (g)</p> <p><math>P_2</math> = Peso capsula con la muestra inicial (g)</p> <p><math>P_3</math> = Peso capsula con la muestra resultante (g)</p> <p>Según la Norma NTE INEN – ISO 1666</p>
<b>Procedimiento 2</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termobalanza</li> <li>• Aluminio</li> <li>• Almidón de mashua</li> <li>• Almidón de yuca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de encendido el equipo, se coloca en el plato con una lámina de aluminio 2 g de la muestra a analizar.</li> <li>• Se cierra la tapa.</li> <li>• Esperar al resultado.</li> </ul>	La termobalanza permite obtener el valor de humedad de la muestra de manera directa, pues en su pantalla indica el porcentaje de humedad y el peso final de la muestra.
<b>Resultados Esperados</b>		
El valor general reportado para el almidón de mashua es de 11.80% y para el almidón de yuca es menor a 15.57%.		
<b>TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Malla de asbesto</li> <li>• Varilla de agitación</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Almidón de Mashua</li> <li>• Almidón de Yuca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disolver 10 g de almidón en un vaso de precipitación con 100 mL de agua.</li> <li>• Calentar agua en un recipiente más grande.</li> <li>• Tomar 50 mL de la solución de almidón preparada y llevarla a baño maría.</li> <li>• Agitar la solución hasta que se forme un gel viscoso.</li> <li>• Tomar la temperatura y mantenerla constante por unos minutos.</li> </ul>	El resultado será el valor tomado en el termómetro, por lo que para un mínimo de error se recomienda repetir el proceso tres veces.
<b>Resultados Esperados</b>		
La Temperatura de Gelatinización para almidones se encuentra dentro del rango de 60°C – 70°C.		
<b>DENSIDAD APARENTE</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 25 mL</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Almidón de mashua</li> <li>• Almidón de yuca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la probeta vacía.</li> <li>• Agregar el almidón hasta los 25 mL y pesar.</li> <li>• En caso de ser necesario, realizar movimientos suaves para que se asiente firmemente el almidón.</li> </ul>	<p>Se aplica la siguiente fórmula para determinar la densidad aparente:</p> $\rho = \frac{\text{masa del almidón}}{\text{volumen de la probeta}}$ <p>Donde:</p> <p><math>\rho</math> = Es la densidad aparente en g/mL</p>
<b>Resultados Esperados</b>		

El almidón debe tener una densidad promedio de 1.560 g/mL.

Realizado por: Robalino, K. 2022

### 3.4.2 Obtención de Bioplástico

La obtención de bioplástico se efectuó variando la cantidad de mezcla de almidón de mashua y yuca (en relación 50%/50%) utilizado y la cantidad de glicerina añadida en el proceso para así llegar al bioplástico con las mejores características que pueda ser usado en el embalaje de alimentos. Como datos preliminares tenemos:

Tabla 4-3: Datos preliminares en la obtención de bioplástico

Prueba	Almidón (g)	Ácido acético (mL)	Agua destilada (mL)	Estabilidad
1	2	4	50	No
2	3			Si
3	4			Si
4	5			No

Realizado por: Robalino, K. 2022

Una vez determinado el mejor tratamiento, se efectuó los ensayos requeridos para la caracterización de un biofilm.

#### 3.4.2.1 Método de Obtención de Bioplástico

A continuación, se describe el procedimiento seguido para la obtención de bioplástico a partir de la mezcla de almidón de mashua y yuca:

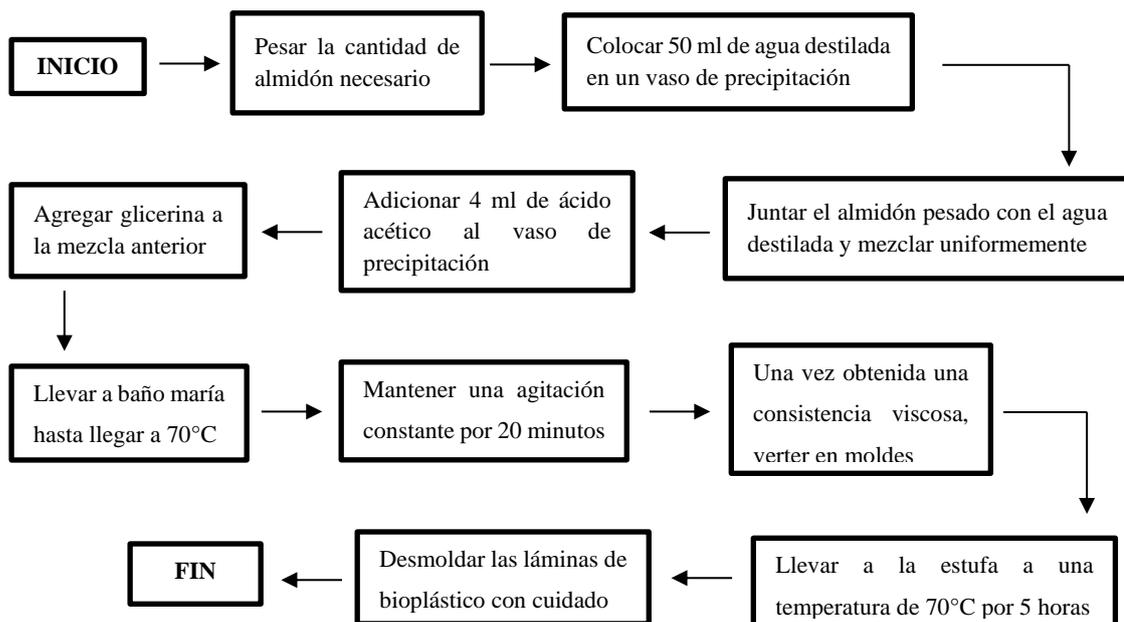


Ilustración 3-3: Procedimiento para la Obtención de Bioplástico

Realizado por: Robalino, K. 2022

### 3.4.2.2 Caracterización del bioplástico obtenido de la mezcla de almidón de Mashua y Yuca

**Tabla 5-3:** Caracterización del bioplástico obtenido de la mezcla de almidón de Mashua y Yuca

<b>HUMEDAD DEL BIOFILM</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Estufa</li> <li>Desecador</li> <li>Capsula</li> <li>Láminas de bioplástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ingresar la capsula en la estufa con anticipación.</li> <li>Colocar la capsula en un desecador hasta que se enfríe.</li> <li>Tomar el peso de la capsula vacía.</li> <li>Pesar las láminas de bioplástico y llevarlo a la estufa a 40°C por 24 horas.</li> <li>Sacar la capsula y colocarla en un desecador hasta enfriar.</li> <li>Pesar la masa final del bioplástico.</li> </ul>	<p>Para determinar el valor de humedad se utiliza la ecuación:</p> $\%H = \frac{m_i - m_f}{m_f} * 100$ <p>Donde:</p> <p><math>\%H</math> = Porcentaje de humedad</p> <p><math>m_i</math> = peso inicial de las láminas de bioplástico (g)</p> <p><math>m_f</math> = peso final de las láminas bioplástico (g)</p>
<b>Resultados Esperados</b>		
El resultado debe estar dentro del rango 19.3% - 22.1% establecido por la Norma 1462.		
<b>SOLUBILIDAD</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Probeta</li> <li>Estufa</li> <li>Papel filtro</li> <li>Vaso con tapa</li> <li>Agua destilada</li> <li>Láminas de bioplástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secar las láminas de bioplástico con papel filtro.</li> <li>Una vez secas, pesar las láminas y anotar.</li> <li>Añadir 50 mL de agua destilada en un vaso con tapa y agregar las muestras.</li> <li>Colocar el vaso en el equipo Shaker a 100 rpm por 1 hora.</li> <li>Filtrar el agua y colocar las láminas en la estufa a 40°C.</li> <li>Pesar las muestras completamente secas.</li> </ul>	<p>Para determinar la solubilidad se utiliza la ecuación:</p> $\%S = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p><math>\%S</math> = Porcentaje de solubilidad del bioplástico</p> <p><math>m_1</math> = Peso inicial de las láminas secas (g)</p> <p><math>m_2</math> = Peso final de las láminas secas (g)</p>
<b>Resultados Esperados</b>		
La Norma establece un rango de 39.0% - 59.5% para el resultado de solubilidad.		
<b>ESPESOR</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pie de rey</li> <li>Lámina de bioplástico</li> <li>Cúter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recortar el bioplástico obtenido en láminas de 4x4.</li> <li>Se coloca el biofilm en el equipo entre la punta fija y el musillo de la forma más ajustada.</li> <li>Se toma la lectura.</li> </ul>	El resultado se obtiene de manera directa del equipo.
<b>Resultados Esperados</b>		
Que los espesores de las muestras tengan un error mínimo al requerido en la experimentación.		
<b>PROPIEDADES DE TRACCIÓN DEL PLÁSTICO</b>		
<b>Reactivos y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para el cálculo</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina universal de pruebas de tracción</li> <li>• Lámina de bioplástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las muestras de ensayo se deben acondicionar, como mínimo, 1 h a 23 °C ± 2 °C.</li> <li>• Hay que asegurar que las muestras y las caras del dispositivo de medida, están libres de contaminación, por ejemplo, polvo.</li> <li>• Antes de iniciar las medidas y después de cada serie de ellas, se comprueba el punto cero del dispositivo de medida.</li> <li>• Se coloca las probetas de ensayo en mordazas de la máquina.</li> <li>• Se apretar las mordazas de forma uniforme evitando el desplazamiento durante la prueba.</li> </ul>	<p>El resultado se obtiene del equipo</p>
<p><b>Resultados Esperados</b></p>		
<p>Se considera degradado cuando el 75.00 % o más es de las probetas tiene un alargamiento por tracción de 5.00 % o menos.</p>		
<p style="text-align: center;"><b>BIODEGRADABILIDAD</b></p>		
<p><b>Reactivos y Equipos</b></p>	<p><b>Procedimiento</b></p>	<p><b>Fórmula para el cálculo</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Tierra</li> <li>• Agua purificada</li> <li>• Láminas de bioplástico</li> </ul>	<p>En Tierra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recoger tierra y analizar sus características.</li> <li>• Pesar las láminas de bioplástico a usar.</li> <li>• Enterrar las láminas en el interior de la tierra a 2 cm de la superficie.</li> <li>• Pesar las láminas a los 7, 14, 21 y 28 días, limpiando la tierra de la superficie de las mismas.</li> </ul> <p>En Agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir 500 mL de agua purificada.</li> <li>• Pesar las láminas de bioplástico a usar.</li> <li>• Colocar las láminas en el agua.</li> <li>• Pesar las láminas a los 7, 14, 21 y 28 días, secándolas en la estufa para una mejor manipulación.</li> </ul>	<p>Para obtener la pérdida de peso de las láminas se utiliza la ecuación:</p> $\%Pér. Pe. = \frac{w_0 - w}{w} * 100$ <p>Donde:</p> <p><math>\%Pér. Pe.</math> = Porcentaje de Pérdida de Peso</p> <p><math>w_0</math> = Peso inicial de las láminas (g)</p> <p><math>w</math> = Peso final de las láminas (g)</p>
<p><b>Resultados Esperados</b></p>		
<p>Se considera la degradabilidad cuando el biofilm se ve afectado por el medio alrededor en pocos días.</p>		

Realizado por: Robalino, K. 2022

## CAPITULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis fisicoquímico y organoléptico de la materia prima

A continuación, se exponen los datos resultantes de los análisis físicos aplicados a los tubérculos utilizados, mostrando en las siguientes tablas los valores de peso, longitud y diámetro de cinco muestras al azar tanto de la mashua como de la yuca, así como los valores de los análisis químicos aplicados a la materia prima.

##### 4.1.1 Caracterización fisicoquímica y organoléptica de las muestras de mashua

**Tabla 1-4:** Resultados de la Caracterización Química de las muestras de mashua

Muestras de Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )		
Parámetro	Valor	Método de Análisis
Humedad	85,57%	INEN 1235
Ceniza	0,80%	INEN 401
Fibra	1,83%	INEN 523
Proteína	1,03%	Método Kjeldahl
Azúcares totales	2.3%	-

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 2-4:** Resultados de la Caracterización Organoléptica de las muestras de mashua

Muestras de Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )	
Parámetro	Descripción
Olor	Picante y terroso
Sabor	En estado normal tiene un sabor amargo y picante, pero después de asoleada y cocinada tiene un sabor dulce.
Color	Color amarillo – anaranjado uniforme
Textura externa	Rígida, lisa uniforme
Textura interna	Granulada, un tanto harinosa

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 3-4:** Resultados de la Caracterización Física de las muestras de mashua

Muestras de Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )						
Nº	Con cáscara			Sin cáscara		
	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso(g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	8.97	133	32	7.29	108	26

2	7.57	108	27	6.17	88	22
3	8.41	126	30	7.01	104	25
4	7.01	104	25	5.33	76	19
5	10.09	145	36	8.69	129	31
Promedio	8.41	123.2	30	6.89	101	24.6

Realizado por: Robalino, K. 2022

#### 4.1.2 Caracterización fisicoquímica y organoléptica de las muestras de yuca

**Tabla 4-4:** Resultados de la Caracterización Química de las muestras de yuca

Muestras de Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )		
Parámetro	Valor	Método de Análisis
Humedad	66,16%	INEN 1235
Ceniza	0,98%	INEN 401
Fibra	2,1%	INEN 523
Proteína	3,5%	Método Kjeldahl

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 5-4:** Resultados de la Caracterización Organoléptica de las muestras de yuca

Muestras de Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )	
Parámetro	Descripción
Olor	Harinoso y terroso
Sabor	Generalmente tiene un sabor dulce
Color	Color blanco – amarillento
Textura externa	Áspera, terrosa
Textura interna	Dura, un tanto fibrosa

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 6-4:** Resultados Caracterización Física de las muestras de yuca

Muestras de Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )						
Nº	Con cáscara			Sin cáscara		
	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso(g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	54.42	97	51	48.25	86	44
2	47.69	85	61	42.08	75	54
3	56.55	101	53	50.39	90	46
4	36.74	89	47	32.62	79	41
5	75.76	99	71	67.34	88	63
Promedio	54.23	94.2	56.6	48.14	83.6	49.6

Realizado por: Robalino, K. 2022

## 4.2 Rendimiento en la Extracción de Almidón

En el proceso de extracción de almidón de mashua y de almidón de yuca, se utilizó una licuadora marca Oster modelo BPSTO-2B variando la velocidad de la misma, entre baja de 6800 RPM y alta a 20000 RPM, con intervalos de tiempo de 30 y 60 segundos.

### 4.2.1 Proceso de Extracción de Almidón de Mashua

**Tabla 7-4:** Proceso de Extracción de Almidón de Mashua

Extracción de Almidón de Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )								
Tratamiento	Repetición	Volumen de agua (mL)	Materia prima (g)	Almidón		Rendimiento		Tiempo de Secado (h)
				(g)	Promedio	(%)	Promedio	
TM1 B:0.5	R1	250	250	13	12.5	5.2	5	9
	R2			12		4.8		
	R3			12		4.8		
	R4			13		5.2		
TM2 B:1	R1			13	12	5.2	4.8	
	R2			12		4.8		
	R3			11		4.4		
	R4			12		4.8		
TM3 A:0.5	R1			10	11.5	4	4.6	
	R2			12		4.8		
	R3			13		5.2		
	R4			11		4.4		
TM4 A:1	R1			12	10.75	4.8	4.3	
	R2			10		4		
	R3			11		4.4		
	R4			10		4		

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Dónde B:** Revolución baja      **A:** Revolución alta      **0.5:** 30 segundos      **1:** 90 segundos

Según los ensayos realizados se obtiene como mejor tratamiento el **TM1** con un rendimiento promedio de 5%.

### 4.2.2 Proceso de Extracción de Almidón de Yuca

**Tabla 8-4:** Proceso de Extracción de Almidón de Yuca

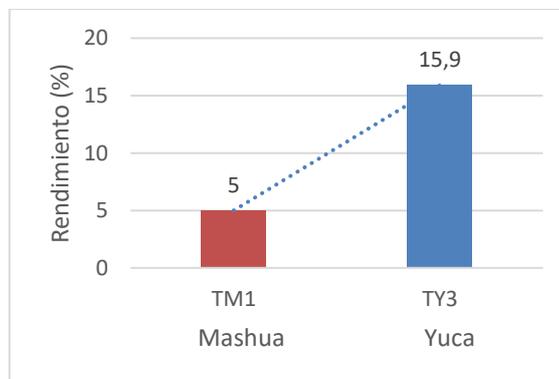
Extracción de Almidón de Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )								
Tratamiento	Repetición	Volumen de agua (mL)	Materia prima (g)	Almidón		Rendimiento		Tiempo de Secado (h)
				(g)	Promedio	(%)	Promedio	
TY1 B:0.5	R1	375	250	36	35.75	14.4	14.3	9
	R2			36		14.4		
	R3			35		14		
	R4			36		14.4		
TY2 B:1	R1			30	31.25	12	12.5	
	R2			32		12.8		
	R3			31		12.4		
	R4			32		12.8		
TY3 A:0.5	R1			41	39.75	16.4	15.9	
	R2			39		15.6		
	R3			39		15.6		
	R4			40		16		
TY4 A:1	R1			38	38	15.2	15.2	
	R2			38		15.2		
	R3			39		15.6		
	R4			37		14.8		

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Dónde B:** Revolución baja      **A:** Revolución alta      **0.5:** 30 segundos      **1:** 90 segundos

Según los ensayos realizados se obtiene como mejor tratamiento el **TY3** con un rendimiento promedio de 15.9%.

#### 4.2.2.1 Comparación de las Extracciones de Almidón de Mashua y Almidón de Yuca



**Ilustración 1-4:** Comparación entre las extracciones de mashua y yuca

Realizado por: Robalino, K. 2022

Comparando el valor de 5% de rendimiento obtenido en la extracción de Mashua con el 2.20% reportado por (Surco, 2004, pág. 30) en su investigación y con el valor de 3.3% alcanzado por (Yungán, 2015, pág. 18), es un resultado favorable el conseguido en el tratamiento **TM1** que consistió en licuar con velocidad baja y un tiempo de 30 segundos siendo propicio para el ahorro de energía y tiempo.

El rendimiento de 15.9% conseguido en la extracción de Yuca es bajo considerando el 22.28% reportado por (Brito, Huacho, & Rodríguez, 2021, pág. 225) y el 28.26% obtenido por (Chimbo, 2021, pág. 49), esto puede deberse a el tipo de materia prima utilizada en esta etapa y a las condiciones del proceso, siendo en este caso el tratamiento **TY3** el más favorable al licuar con velocidad alta durante un tiempo de 30 segundos.

### 4.3 Análisis fisicoquímico y organoléptico del almidón de mashua y almidón de yuca

A continuación, se exponen los datos resultantes de los análisis físicos y químicos aplicados a los almidones extraídos de la mashua y de la yuca.

#### 4.3.1 Caracterización fisicoquímica y organoléptica del almidón de mashua y almidón de yuca

**Tabla 9-4:** Resultados de la Caracterización Organoléptica del almidón de mashua

<b>Almidón de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Olor</b>	Característico
<b>Sabor</b>	Sin sabor
<b>Color</b>	Color blanco – anaranjado bajo
<b>Textura externa</b>	Seca
<b>Textura interna</b>	Suave

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 10-4:** Resultados de la Caracterización Organoléptica del almidón de yuca

<b>Almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Olor</b>	Característico
<b>Sabor</b>	Sin sabor
<b>Color</b>	Color blanquinoso
<b>Textura externa</b>	Seca
<b>Textura interna</b>	Suave

Realizado por: Robalino, K. 2022

#### 4.3.1.1 Contenido de Amilosa en el Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 11-4:** Contenido de Amilosa en las muestras de almidón

Prueba de Amilosa		
Almidón	Porcentaje	Método de ensayo
Mashua	35.04%	MO-LSAIA-04
Yuca	35.69%	MO-LSAIA-04

Realizado por: Robalino, K. 2022

Según los resultados obtenidos en (Surco, 2004, pág. 18) presenta un 27% de amilosa promedio para el almidón de mashua, mientras que (Velásquez & Velezmoro, 2018) menciona en su investigación un valor de 26.13%.

En el estudio hecho por (García, Pinzón, & Sánchez, 2013, pág. 5) obtiene un 30.68% de amilosa promedio para el almidón de yuca, pudiendo llegar a obtener valores superiores al 30%. Cabe señalar que los almidones tipo *waxy* (almidones con bajo contenido de amilosa) provenientes de raíces y tubérculos tienen una pasta más clara, menor solubilidad y mayor poder hinchamiento, que los almidones de contenido intermedio y alto de amilosa. (Sívoli, Pérez, & Rodríguez, 2012, pág. 305)

#### 4.3.1.2 Determinación de pH del Almidón de Mashua y del Almidón de Yuca

**Tabla 12-4:** Determinación de pH en las muestras de almidón

Almidón de Mashua		Almidón de Yuca	
Repetición	pH	Repetición	pH
1	6.8	1	7.5
2	6.3	2	6.9
3	6.7	3	7.1
Promedio	6.6	Promedio	7.2

Realizado por: Robalino, K. 2022

De acuerdo con la Norma NTE INEN 1456, el almidón de mashua obtenido cumple con lo establecido al encontrarse dentro del rango permisible que va de 5,0 – 7,0, con un valor promedio conseguido a nivel de laboratorio de 6.6; mientras que el almidón de yuca con un pH promedio de 7.2 pasa ligeramente el valor máximo, es decir tiende a un pH básico, a comparación del valor de 5.568 obtenido por (Chimbo, 2021, pág. 50) en su investigación y del valor de 5.85 reportado por (Brito, Huacho, & Rodríguez, 2021, pág. 226) en su estudio.

#### 4.3.1.3 Porcentaje de humedad del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 13-4:** Porcentaje de humedad de las muestras de almidón

Almidón de Mashua		Almidón de Yuca	
Repetición	Humedad	Repetición	Humedad
1	9.81	1	13.94
2	10.4	2	10.49
3	10.1	3	12.47
Promedio	10.1	Promedio	12.3

Realizado por: Robalino, K. 2022

El porcentaje de humedad del almidón de mashua se encuentra cerca del valor obtenido por (Surco, 2004, pág. 31) de 11,80%, tomando en consideración que si se obtiene un porcentaje superior de humedad indicarían probabilidad de contaminación por hongos y si el nivel de humedad es menor entonces el almidón presentaría severas condiciones de secado.

El valor de humedad del almidón de yuca reportado por (Álava, Bravo, Zambrano, Zambrano, & Loor, 2017, pág. 30) muestra un rango de 10.49% y 15.57%, estando el resultado obtenido dentro de este rango.

#### 4.3.1.4 Residuos por calcinación del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 14-4:** Residuos por calcinación de las muestras de almidón

Almidón de Mashua		Almidón de Yuca	
Repetición	Cenizas	Repetición	Cenizas
1	0.38	1	0.44
2	0.32	2	0.35
3	0.39	3	0.37
Promedio	0.36	Promedio	0.39

Realizado por: Robalino, K. 2022

De acuerdo con la Norma NTE INEN 1456, el almidón de mashua obtenido cumple con lo establecido al encontrarse dentro del rango permisible de no ser mayor a 0,4% con un valor promedio conseguido a nivel de laboratorio de 0.36.

De igual manera, el almidón de yuca se encuentra dentro del rango permitido por la norma al tener un valor promedio de 0.39, resultado parecido al que obtuvo (Álava, Bravo, Zambrano, Zambrano, & Loor, 2017, pág. 31) en su investigación.

#### 4.3.1.5 Temperatura de gelatinización del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 15-4:** Temperatura de gelatinización de las muestras de almidón

Repetición	Temperatura de Gelatinización (°C)
1	63
2	62
3	59
Promedio	61.33
Repetición	Temperatura de Gelatinización (°C)
1	65
2	68
3	66
Promedio	66.33

Realizado por: Robalino, K. 2022

La temperatura de gelatinización de la mayoría de almidones ronda desde los 57,5°C hasta los 70°C, por lo que el almidón de mashua al mostrar un valor de 61.33°C se encuentra dentro del rango permisible.

De igual manera, el almidón de yuca con el valor de 66.33°C se encuentra dentro del rango establecido por (Techeira, Sívoli, Perdomo, Ramírez, & Sosa, 2014, pág. 193) de 60°C – 70°C.

#### 4.3.1.6 Prueba de Solubilidad del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 16-4:** Prueba de Solubilidad de las muestras de almidón

Repetición	Almidón de mashua	Almidón de Yuca
	Observación	Observación
1	Levemente opaca	Ligeramente opaca
2	Levemente opaca	Ligeramente opaca
3	Levemente opaca	Ligeramente opaca

Realizado por: Robalino, K. 2022

De manera cualitativa se determinó la solubilidad de la muestra de almidón de mashua y del almidón de yuca observándose una opalescencia que da positivo para esta prueba en ambas almidones. La muestra de mashua tomó una tonalidad crema propia del almidón de mashua obtenido, mientras que la muestra de yuca tomó una tonalidad blanquesina característica del almidón de yuca.

#### 4.3.1.7 Determinación de la Densidad Aparente del Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

**Tabla 17-4:** Densidad aparente de las muestras de almidón

Almidón de Mashua	Almidón de Yuca
-------------------	-----------------

Repetición	Densidad Aparente	Repetición	Densidad Aparente
1	1.1	1	0.51
2	1.55	2	0.48
3	1.33	3	0.49
Promedio	1.33	Promedio	0.49

Realizado por: Robalino, K. 2022

#### 4.4 Obtención del biofilm a partir de la mezcla de almidones

La mezcla de almidones utilizada en el proceso de elaboración del biofilm contiene un 50% de almidón de mashua proveniente del tratamiento **TM1** y 50% de almidón de yuca del tratamiento **TY3**, variando la cantidad de plastificante y la concentración en cada ensayo. Una vez secado en estufa se analizaron sus propiedades.

**Tabla 18-4:** Obtención del biofilm de la mezcla de almidón

Tratamiento	Variable	Repetición	Secado		Área (cm <sup>2</sup> )	Peso biofilm		Espesor (mm)	Transparencia	Forma película	Estabilidad
			Temperatura (°C)	Tiempo (h)		(g)	Promedio				
T1	C3:P2	R1	70	5	54.11	1.2188	1.2675	0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
		R2			63.62	1.0295		0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
		R3			54.11	1.5543		0.2	Ligeramente opaco	Si	No
		R4			63.62	1.2675		0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
T2	C3:P3	R1			54.11	1.4772	1.5048	0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
		R2			63.62	1.3891		0.2	Ligeramente opaco	Si	No
		R3			54.11	1.5861		0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
		R4			63.62	1.5668		0.2	Ligeramente opaco	Si	Si
T3	C4:P2	R1	54.11	1.7356	1.8661	0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
		R2	63.62	1.6179		0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
		R3	54.11	2.2449		0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
		R4	63.62	1.8661		0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
T4	C4:P3	R1	54.11	1.7263	1.7485	0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
		R2	63.62	1.6372		0.2	Ligeramente crema	Si	No		
		R3	54.11	1.8751		0.2	Ligeramente crema	Si	Si		
		R4	63.62	1.7552		0.2	Ligeramente crema	Si	Si		

Realizado por: Robalino, K. 2022

Como se observó en los ensayos, si se varía la formulación se observarán unos de forma dura y tiesa o blanda y quebradiza a los cuales se descarta ya que no son adecuados para el recubrimiento en alimentos.

#### 4.5 Caracterización fisicoquímica y organoléptica del biofilm

La coloración crema de las láminas de biofilm elaboradas es proveniente del almidón de mashua principalmente, ya que, en la etapa de ser separado el almidón del sobrenadante, los pigmentos de colorante del tubérculo de mashua pasan el filtro dándole la coloración característica.

##### 4.5.1.1 Análisis Sensorial del biofilm

**Tabla 19-4:** Análisis Sensorial del biofilm

Lámina de biofilm	
Parámetro	Descripción
Olor	Un poco picante
Sabor	Ligeramente amargo
Color	Color anaranjado bajo
Textura externa	Suave
Textura interna	Suave

Realizado por: Robalino, K. 2022

##### 4.5.1.2 Determinación de humedad del biofilm

**Tabla 20-4:** Determinación de humedad del biofilm

Tratamiento	Repetición	Humedad (%)	Promedio
T1	R1	16.94	17.27
	R2	18.33	
	R3	16.55	
T2	R1	20.25	20.91
	R2	21.7	
	R3	20.8	
T3	R1	14.53	14.75
	R2	16.03	
	R3	13.69	
T4	R1	16.97	16.94
	R2	18.36	
	R3	15.5	

Realizado por: Robalino, K. 2022

Según indica (Chimbo, 2021, pág. 59) en su investigación, el porcentaje de humedad para un biofilm elaborado de almidón de yuca está dentro de un rango que va desde el 17.36% a los 25.23%; mientras que en la investigación realizada por (Pilla, 2017, pág. 37), el biofilm obtenido de almidón de oca (tubérculo parecido a la mashua) posee una humedad que va entre el 7% a los 15%. El

resultado obtenido en el tratamiento T2 del 20.91% se encuentran en el rango de 19.3% - 22.1% establecido por la Norma INEN 1462.

#### 4.5.1.3 Determinación de Solubilidad del biofilm

**Tabla 21-4:** Determinación de Solubilidad del biofilm

Tratamiento	Repetición	Solubilidad (%)	Promedio
T1	R1	43.32	41.99
	R2	41.99	
	R3	40.66	
T2	R1	32.94	34.41
	R2	34.41	
	R3	35.88	
T3	R1	35.64	34.18
	R2	32.73	
	R3	34.18	
T4	R1	35.77	35.77
	R2	37.53	
	R3	34.02	

Realizado por: Robalino, K. 2022

La solubilidad del biofilm elaborado de almidón de yuca obtenido por (Chimbo, 2021, pág. 60) en su estudio, está en un rango que va desde el 35.55% hasta el 46.09%.; mientras que en la investigación realizada por (Pilla, 2017, pág. 40) señala un rango de 18% hasta el 39% para la solubilidad del biofilm obtenido de almidón de oca. La norma establece un rango de 39.0% - 59.5%, por lo que el valor obtenido en el tratamiento T1 de 41.99% se encuentran dentro de lo permitido.

#### 4.5.1.4 Propiedad de Tracción del biofilm

**Tabla 22-4:** Resultado de la Propiedad de Tracción del Biofilm

	Característica	Módulo de Elasticidad (MPa)	Carga de Fluencia (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)
T1	Transparente	1.370.E+01	0.95	0.32	1.00	0.34	7.04
T2	Transparente	1.370.E+01	0.74	0.23	0.77	0.24	6.04
T3	Transparente	1.370.E+01	2.72	0.58	2.92	0.62	7.60
T4	Transparente	1.370.E+01	1.82	0.47	2.00	0.52	6.04

Realizado por: Robalino, K. 2022

En la investigación realizada por (Chimbo, 2021, pág. 62) los valores reportados del biofilm obtenido de almidón de yuca son: 2.04 N para la carga de fluencia, 1.40 MPa para el esfuerzo de fluencia, 3.23 N para la carga máxima, 2.21 MPa para el esfuerzo máximo y 92.46% para la elongación. Mientras que (Minchola, 2019, pág. 46) reporta en su investigación que el biofilm elaborado a partir de mashua presenta un valor de 2.11 N en su fuerza de tracción y un porcentaje de elongación de 7.36% y un resultado de 0.192 kg/cm<sup>2</sup> en la tensión.

#### 4.5.1.5 Biodegradación

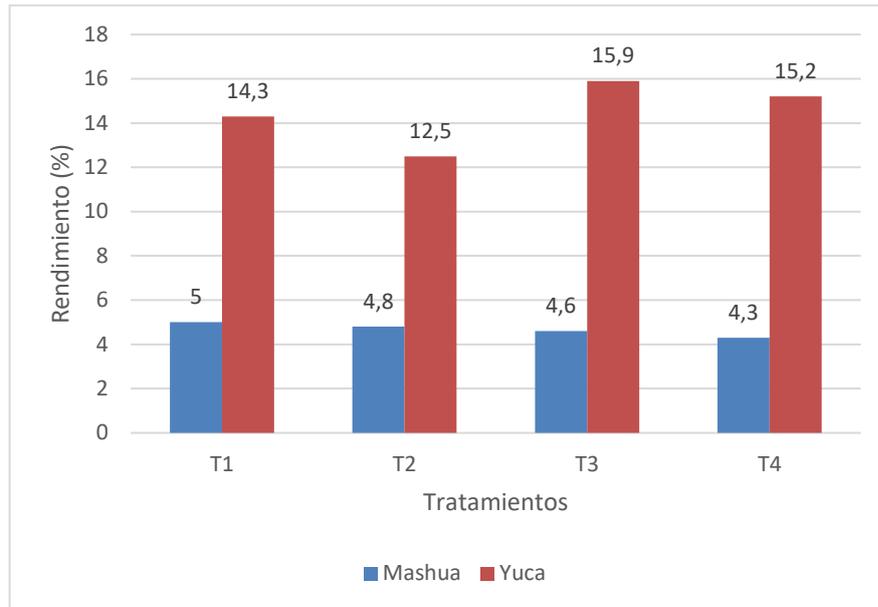
**Tabla 23-4:** Masa inicial y final del biofilm después del proceso de degradación

Tratamiento	Ambiente	Peso Inicial (g)	Peso a los 7 días (g)	Peso a los 14 días (g)	Peso a los 21 días (g)	Peso a los 28 días (g)
T1	Agua	0.4784	0.3680	0.1326	–	–
	Aire	0.5646	0.4470	0.3615	0.2492	0.1131
	Suelo	0.5132	0.3390	0.1629	0.0794	–
T2	Agua	0.2589	0.1568	0.0398	–	–
	Aire	0.4596	0.4093	0.3165	0.1708	0.0264
	Suelo	0.3604	0.2271	0.0913	–	–
T3	Agua	0.4895	0.4191	0.2958	0.1161	–
	Aire	0.4687	0.3703	0.2661	0.1489	0.0519
	Suelo	0.5543	0.3981	0.2651	0.1244	0.0197
T4	Agua	0.4758	0.3723	0.3169	0.1554	0.0363
	Aire	0.4307	0.3208	0.2259	0.1080	–
	Suelo	0.4863	0.3442	0.1087	–	–

Realizado por: Robalino, K. 2022

#### 4.5.2 Análisis de la Extracción de Almidón de Mashua y Almidón de Yuca

Como se sabe, el almidón es uno de los principales componentes de las raíces y tuberculos. Según los resultados obtenidos en la etapa de extracción de almidón de la mashua y de la yuca, de este último tubérculo se obtiene una mayor cantidad de almidón al conformar aproximadamente un 36% de su composición química.



**Ilustración 2-4:** Comparación de Rendimiento entre tubérculos

Realizado por: Robalino, K. 2022

En caso de experimentos con un solo factor, el diseño experimental más utilizado es el Análisis de Varianza ANOVA, que en este caso nos permite saber si existen diferencias significativas entre los tratamientos utilizados para la extracción de almidón de la mashua y de la yuca.

#### 4.5.2.1 Análisis de Varianza para el Almidón de Mashua

Hipótesis Nula ( $H_0$ ) = Todos los tratamientos de extracción de almidón de mashua son iguales.

Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ) = Al menos un tratamiento es diferente.

**Tabla 24-4:** Análisis de Varianza del Almidón de Mashua

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,6875	3	0,22916667	0,20496894	0,8904028	3,86254836
Columnas	6,6875	3	2,22916667	1,99378882	0,18552817	3,86254836
Error	10,0625	9	1,11805556			
Total	17,4375	15				

Realizado por: Robalino, K. 2022

Si  $P > 0.05$  se acepta  $H_0$ ; sino si  $P < 0.05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Si  $F > \text{Valor crítico para F}$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Entonces, según la tabla 24-4 se obtiene un valor de 0.18552817 de probabilidad siendo este mayor que 0.05, y de igual manera el valor de F obtenido de 1.99378882 es menor que el valor crítico para F de 3.86254836, se acepta  $H_0$  y se concluye que no existe diferencia entre los tratamientos realizados para la extracción de almidón de la mashua.

#### 4.5.2.2 Análisis de Varianza para el Almidón de Yuca

Hipótesis Nula ( $H_0$ ) = Todos los tratamientos de extracción de almidón de yuca son iguales.

Hipótesis Alterna ( $H_a$ ) = Al menos un tratamiento es diferente.

**Tabla 25-4:** Análisis de Varianza del Almidón de Yuca

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,1875	3	0,0625	0,069767442	0,974653342	3,86254836
Columnas	162,1875	3	54,0625	60,34883721	2,77599E-06	3,86254836
Error	8,0625	9	0,895833333			
Total	170,4375	15				

Realizado por: Robalino, K. 2022

Si  $P > 0.05$  se acepta  $H_0$ ; sino si  $P < 0.05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Si  $F > \text{Valor crítico para F}$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Entonces, según la tabla 25-4 se obtiene un valor de 2.77599E-06 de probabilidad siendo este menor que 0.05, y de igual manera el valor de F obtenido de 60.34883721 es mayor que el valor crítico para F de 3.86254836, se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$  concluyéndose que al menos un tratamiento es estadísticamente diferente, por lo que se prosigue a realizar un análisis Tukey para encontrar el tratamiento diferente.

**Tabla 26-4:** Análisis Tukey de la Yuca

Tabla de Tukey	4.2
CM <sub>error</sub>	0,895833333
n <sub>i</sub>	4
T $\alpha$	1,987617921

Realizado por: Robalino, K. 2022

**Tabla 27-4:** Comparación entre tratamientos

Diferencia poblacional	Diferencia muestras	Decisión
------------------------	---------------------	----------

$\mu_{T1} - \mu_{T2}$	4.5	Si es significativa
$\mu_{T1} - \mu_{T3}$	4	Si es significativa
$\mu_{T1} - \mu_{T4}$	2.25	Si es significativa
$\mu_{T2} - \mu_{T3}$	8.5	Si es significativa
$\mu_{T2} - \mu_{T4}$	6.75	Si es significativa
$\mu_{T3} - \mu_{T4}$	1.75	No es significativa

Realizado por: Robalino, K. 2022

Comparando la diferencia de los promedios de las muestras con el valor de Tukey calculado, se observa que existe una diferencia significativa en la mayoría de los tratamientos realizados en la extracción de almidón de yuca, por lo que se concluye que si afecta la velocidad de licuado y el tiempo de trituración que se vaya a aplicar a la muestra.

#### 4.5.3 *Análisis del Porcentaje de Degradación del Biofilm*

**Tabla 28-4:** Porcentaje de Degradación del Biofilm

Tratamiento	Ambiente	Degradación a los 7 días (%)	Degradación a los 14 días (%)	Degradación a los 21 días (%)	Degradación a los 28 días (%)
T1	Agua	30	72.28	–	–
	Aire	26.31	35.98	55.87	79.96
	Suelo	51.37	68.24	84.53	–
T2	Agua	65.11	84.63	–	–
	Aire	12.29	31.13	62.83	94.25
	Suelo	58.69	74.67	–	–
T3	Agua	16.79	39.57	76.28	–
	Aire	26.57	43.22	68.21	88.93
	Suelo	39.24	52.17	77.55	96.45
T4	Agua	27.80	42.66	67.34	91.57
	Aire	34.26	47.53	74.92	–
	Suelo	41.28	77.64	–	–

Realizado por: Robalino, K. 2022

El porcentaje de degradación de las muestras expuestas a condiciones de agua, aire y suelo se obtuvo mediante el cálculo de la pérdida de peso de las láminas de biofilm entre el transcurso de 28 días. El T4 presentó su máximo porcentaje de degradación en agua con un 91.57% a los 28 días, siendo este el que más duró en este ambiente. El T2 presentó un porcentaje de degradación en aire del 94.25% a los 28 días, mientras que el T3 presentó un porcentaje de degradación en suelo del 96.45%, siendo este el que más duró en este medio.

#### 4.6 Análisis del costo de producción del biofilm

Debido a la baja oferta de productos biodegradables en nuestro país, nace la necesidad de buscar alternativas que sean rentables utilizando productos orgánicos que ayuden con la reducción de residuos sólidos en el planeta y que satisfaga las necesidades de los consumidores.

Para analizar el costo de producción, se tomó como primer dato el mejor rendimiento de la extracción de almidón de ambos tubérculos, obteniendo:

**Tabla 29-4:** Resultados Obtención de Almidón

Materia prima	Cantidad inicial	Volumen de agua	Cantidad de almidón obtenido	Cantidad de almidón tamizado
Yuca	250 g	375 ml	15.9 g	14.31 g
Mashua	250 g	250 ml	12.5 g	12 g

Realizado por: Robalino, K. 2022

Para producir una lámina de bioplástico con un área aproximada de 117.73 cm<sup>2</sup> con 0.2 mm promedio de espesor, se necesita de 4 g de almidón tamizado, por lo que tomando como base la cantidad señalada en la población de materia prima (14 Kg de mashua y 9 Kg de yuca) se obtiene los siguientes datos:

**Tabla 30-4:** Proyección Cantidad de Producto Final

Materia prima	Cantidad inicial	Cantidad de almidón tamizado	Cantidad de almidón utilizado por cada lámina de biofilm	Nº de láminas de 11.73 cm <sup>2</sup> x 0.2 mm
Yuca	9000 g	515.16 g	2 g	257
Mashua	14000 g	672 g	2 g	

Realizado por: Robalino, K. 2022

De acuerdo a este análisis se determina que con la cantidad inicial de 9 Kg de yuca y 14 Kg de mashua se lograría obtener aproximadamente 257 láminas de biofilm, con el área señalada anteriormente.

Para el análisis económico se tomó en cuenta todos los costos directos e indirectos que intervienen en la elaboración de las 257 láminas de biofilm.

**Tabla 31-4:** Análisis Económico para la producción de las láminas de biofilm

Detalle	Cantidad	Valor USD	Cantidad Total	Total USD
COSTOS DIRECTOS				
Mashua	1.4 Kg	1.00	11 Kg	7.86
Yuca	2.3 Kg	1.00	9 Kg	3.96
Glicerina	100 mL	2.90	514 mL	14.91

Ácido Acético	500 mL	1.40	1028 mL	2.88
Caja de guantes	1	7.00	1	7.00
Caja fundas ziploc	1	3.00	1	3.00
Otros				15.00
<b>Total</b>				54.61
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
Agua	3.8 L	1.30	12.85 L	4.40
Electricidad	1 Kw/h	0.092	2.35 Kw/h	0.2162
Otros				15.00
<b>Total</b>				19.62
<b>Costos de Producción</b>				74.23
<b>Costo de Producción Unitario</b>				0.2888
<b>Utilidad por unidad (25%)</b>				0.0722
<b>Precio de Venta por Unidad</b>				0.36

Realizado por: Robalino, K. 2022

$$\text{Análisis } \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Precio Venta por Unidad}}{\text{Costo de Producción Unitario}}$$

$$\text{Análisis } \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{0.36}{0.29} = 1.24$$

Para el consumo de agua y energía se tomó en consideración la cantidad utilizada durante los 16 tratamientos realizados en la extracción de almidón de los 14 Kg de mashua y 9 Kg de yuca y en la etapa de elaboración del biofilm.

De los resultados obtenidos en la Tabla 31-4 se puede concluir que el proyecto es rentable, pues la relación beneficio/costo debe ser mayor a 1, además la utilidad obtenida por cada unidad vendida sería de 0.07 USD.

## 4.7 Prueba de Hipótesis

### 4.7.1 General

Los almidones extraídos por vía húmeda, tanto de la mashua como de la yuca, cumplen con los requisitos establecidos en la norma para ser calificados como almidones de calidad, pudiendo ser utilizados en mezcla de 50%/50% como materia prima en la obtención de un biofilm que cumpla con pruebas establecidas y con las características necesarias para ser utilizado en el embalaje de alimentos.

### 4.7.2 Específicas

- Las repeticiones realizadas en la etapa de extracción de almidón permitieron determinar el mejor procedimiento para obtener la mayor cantidad de almidón de mashua y almidón de yuca, dando como resultado que el mejor tratamiento para el almidón de mashua fue el TM1 con un rendimiento del 5% y el mejor tratamiento para el almidón de yuca fue el TY3 con un rendimiento del 15.9%; además, gracias al análisis de varianza ANOVA se comprobó que para la extracción de almidón de mashua no existe variación entre los tratamientos realizados, mientras que en la extracción de almidón de yuca si se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.
- Al realizar los ensayos fisicoquímicos requeridos para caracterizar las muestras de almidón obtenidas, como solubilidad, pH o residuos por calcinación, se demostró que tanto el almidón de mashua como el almidón de yuca cumplen con los parámetros que establece la Norma NTE INEN 1456 para ser utilizado como materia prima para la elaboración del biofilm; además de obtener valores de amilosa de 35.04% para el almidón de mashua y 35.69% para el almidón de yuca que son adecuados para este propósito.
- En base a las formulaciones que se realizaron para la obtención del biofilm variando la cantidad de plastificante y la cantidad de mezcla de almidón (50% almidón de mashua/50% almidón de yuca), y según las pruebas y ensayos efectuados sobre los tratamientos, se determinó que el biofilm obtenido del **T3** presenta las mejores características para ser considerado apto en el recubrimiento de alimentos, pudiendo mantener las propiedades de los alimentos que son recubiertos con este biofilm por semanas..

#### 4.8 Discusión

La primera etapa para la obtención del biofilm consistió en extraer el almidón de la mashua y de la yuca, donde se buscó obtener la mayor cantidad de almidón realizando cuatro tratamientos sobre ambos tubérculos, que consistieron en variar la velocidad de trituración de la licuadora (alta y baja) y el tiempo de licuado (30 y 60 segundos). En el caso de la extracción de almidón de mashua se alcanzó el mejor rendimiento con el **TM1** con un 5%, licuando 250 g de materia prima y 250 ml de agua destilada a una velocidad baja (6800 RPM) durante 30 segundos, para luego filtrar el residuo sólido y dejar reposar el restante por un tiempo aproximado de 9 horas, y finalmente una vez separado el sobrenadante se secó el almidón a una temperatura de 70°C por 9 horas. Este rendimiento obtenido es favorable comparado con el 2.20% conseguido por (Surco, 2004, pág. 30) en su investigación, pudiendo deberse esta diferencia de porcentajes al tiempo de sedimentación de la suspensión y la temperatura de secado utilizada en ambas investigaciones; mientras que en el estudio realizado por (Espín, Villacrés, & Beatriz, 1999, pág. 101) reporta un rendimiento del 4.6%, y como se señala en este documento, las diferencias en los porcentajes de

extracción podrían atribuirse al tamaño y variedad del tubérculo utilizado. Para la extracción de almidón de yuca, el mejor porcentaje de rendimiento fue de 15.9% obtenido con el **TY3** tratamiento en el cual se utilizó 250 g de materia prima y 375 ml de agua destilada, siendo licuada a una velocidad alta (20000 RPM) por un tiempo de 30 segundos, se dejó reposar la suspensión por 5 horas, y finalmente se secó el almidón a 70°C por 9 horas. El rendimiento conseguido es bajo considerando el 22.28% reportado por (Brito, Huacho, & Rodríguez, 2021, pág. 225) y el 16.51% conseguido por (Arévalo, 2011, pág. 42), esto puede deberse a las condiciones del proceso como el tiempo de sedimentación de la suspensión, la temperatura de secado y la cantidad de agua utilizada.

En la siguiente etapa se caracterizó los almidones obtenidos de los tratamientos con mejor rendimiento, consiguiendo los siguientes resultados: en el análisis de pH el **TM1** presentó un valor promedio de 6.6 y en el **TY3** fue de 7.2 los cuales entran en el rango establecido por la Norma NTE INEN 1456 de 5.0 – 7.0, recordando que aquellos almidones que tengan un pH menor a 5 o superior a 7 tienden a temperaturas de gelatinización bajas acelerando el proceso de cocción, en la temperatura de gelatinización se obtuvieron valores de 61.33°C y 66.33°C para **TM1** y **TY3**, respectivamente, encontrándose en el estándar de la Norma NTE INEN 1456 de 57.5°C – 70°C, en el análisis de cenizas se obtuvo como resultado 0.36% para **TM1** y 0.39% para **TY3** encontrándose dentro del rango permisible por la Norma NTE INEN 1456 de no ser mayor a 0,4%, en cuanto a la densidad aparente, se obtuvo como resultado para **TM1** un valor de 1.33 g/ml y para **TY3** fue de 0.49 g/ml y según la FAO presenta un valor estándar de  $\pm 1.56$  g/ml como estándar, el porcentaje de humedad para **TM1** fue de 10.1% encontrándose cerca del valor obtenido por (Surco, 2004, pág. 31) de 11,80%, diferencia que puede deberse a la metodología usada en la investigación, mientras que para **TY3** el porcentaje de humedad fue de 12.3% encontrándose dentro del rango que obtiene (Álava, Bravo, Zambrano, Zambrano, & Loor, 2017, pág. 30) en su investigación de 10.49% - 15.57%, tomando en consideración que a valores altos de humedad aumenta la probabilidad de contaminación por hongos, en el porcentaje de amilosa **TM1** obtuvo un valor de 35.04% que es mayor comparado con el 27% obtenido por (Surco, 2004, pág. 18) y (Espín, Villacrés, & Beatriz, 1999, pág. 104) y con el 26.13% reportado por (Velásquez & Velezmoro, 2018), mientras que **TY3** obtuvo un valor de 35.69% de amilosa que es ligeramente superior al 32.61% obtenido por (Chimbo, 2021, pág. 51) y por el 30.68% reportado por (García, Pinzón, & Sánchez, 2013, pág. 5) en su estudio, que pueden reportarse valores de amilosa superiores al 30% que se ajusta al valor obtenido en esta investigación. Estas diferencias en los porcentajes de amilosa pueden deberse a las condiciones de cultivo de la materia prima utilizada y la especie de la misma, recordando que entre más alto el valor de la amilosa da mayor facilidad para la formación de biomateriales. Gracias a los valores aceptables de humedad de los almidones, existió una ausencia de coliformes

totales y mohos y levaduras en ambos tratamientos **TM1** y **TY3**, por lo cual se los consideró aptos para ser usados en la elaboración del biofilm.

Continuando con la etapa de la elaboración del biofilm, se utilizó los almidones caracterizados anteriormente en una mezcla 50%/50%, donde se realizó cuatro tratamientos variando la cantidad de plastificante (2 ml y 3 ml) y la cantidad de almidón (3 g y 4 g) para determinar la formulación que brinde mejores características a la lámina de biofilm, concluyendo que el **T3** es el más apto al presentar una buena estabilidad. Para este tratamiento se utilizó 4 g de la mezcla de almidón junto con 2 ml de glicerina mezclados en 50 ml de agua destilada, luego fue llevada a baño maría hasta llegar a una temperatura de 70°C por 20 minutos y finalmente fue secada a 70°C por 5 horas. Este biofilm presentó un espesor de 0.2 mm que se encuentra dentro de la Norma NTE INEN 2542 que establece el valor de 0.2 mm como valor máximo, en la humedad obtuvo un porcentaje de 14.75%, siendo un valor bajo comparado con (Chimbo, 2021, pág. 59) quien indica en su investigación que el porcentaje de humedad para un biofilm elaborado de almidón de yuca va desde 17.36% a los 25.23%, mientras que en la investigación realizada por (Pilla, 2017, pág. 37), el biofilm obtenido de almidón de oca (tubérculo parecido a la mashua) posee una humedad que va entre el 7% a los 15%, en el análisis de solubilidad obtuvo un valor de 34.18% el cual es bajo comparado con el porcentaje de 35.55% obtenido por (Chimbo, 2021, pág. 60) en el biofilm elaborado de almidón de yuca mientras que en la investigación realizada por (Pilla, 2017, pág. 40) señala un rango de 18% hasta el 39% para la solubilidad del biofilm obtenido de almidón de oca, además cabe señalar que películas biodegradables que tengan un porcentaje menor al 70% de solubilidad son utilizados generalmente en recubrimiento de alimentos, y aquellos con porcentajes mayores son utilizados en recubrimientos de capsulas para el área de medicina. En las pruebas de tracción presenta un porcentaje de elongación de 7.6% y según la Norma ASTM D638-14 la resistencia para plásticos es de 14 a 140 MPa y los valores de tensión de tracción y elongación a la rotura para plásticos no reforzados generalmente varían debido a las inconsistencias en el estirado de la sección central de la probeta de prueba, esto se relaciona con la utilidad práctica de las piezas moldeadas, tiene un módulo de elasticidad de 1.370.E+01, con una carga de fluencia de 2.72 N, un esfuerzo de fluencia de 0.58 MPa, una carga máxima de 2.92 N y un esfuerzo máximo de 0.62 MPa. La degradabilidad en el agua se dio en un periodo de 26 días, cumpliendo con la Norma INEN 2643 que señala que los plásticos compostables deben desintegrarse después de 12 semanas, además se aplicó el recubrimiento sobre muestras de alimentos verificando que puede mantener sus propiedades por semanas.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- El biofilm elaborado a partir de la mezcla 50% almidón de mashua y 50% almidón de yuca cumple con las características para ser utilizado en el recubrimiento de alimentos pues presentó un buen comportamiento al proteger a ciertos alimentos de los agentes ambientales conservándolos perfectamente por tres semanas.
- El almidón utilizado en esta investigación se extrajo según el método estadístico 2<sup>k</sup> obteniendo como resultado que el mejor tratamiento para el almidón de mashua fue el **TM1** del cual se obtuvo 12.5 g de almidón con un rendimiento del 5% presentando una coloración anaranjada característica de la mashua, mientras que para el almidón de yuca el mejor tratamiento fue el **TY3** del cual se consiguió 39.75 g de almidón con un rendimiento del 15.9% que presentó una coloración blanquecina propia de este tubérculo.
- Según la caracterización fisicoquímica realizada al almidón de mashua se obtuvo como resultado un pH de 6.6, un porcentaje de cenizas de 0.36, un porcentaje de humedad de 10.1, una temperatura de gelatinización de 61.33°C, una densidad aparente de 1.33 g/ml, en la solubilidad se observó levemente opaca y un valor de amilosa de 35.04%; mientras que para el almidón de yuca se obtuvo un pH de 7.2, un porcentaje de cenizas de 0.39, un porcentaje de humedad de 12.3, una temperatura de gelatinización de 66.33°C, una densidad aparente de 0.49 g/ml, en la solubilidad se observó ligeramente opaca y un valor de amilosa de 35.69%, concluyendo que todo estos valores se encuentran dentro de los parámetro establecidos en la Norma NTE INEN 1456 para el Método de Análisis de Almidón Soluble.
- En base a las formulaciones realizadas para obtener el biofilm se determinó que el tratamiento con mejores características después de realizados los respectivos ensayos fue el **T3** para el cual se utilizó 2 ml de plastificante, 4 ml de ácido acético, con 50 ml de agua destilada y 4 g de la mezcla de almidón (50% mashua/50% yuca), al presentar una buena estabilidad y una buena consistencia al no ser quebradizo ni muy blando.
- El biofilm obtenido en el tratamiento **T3** presentó las mejores características y fue validado mediante su caracterización fisicoquímica y mecánica a través de los ensayos correspondientes consiguiendo como resultado un valor de 14.75% de humedad, un porcentaje de solubilidad de 34.18, un módulo de elasticidad de 1.370.E+01, un valor de 2.72 N para la carga de fluencia, un esfuerzo de fluencia de 0.58 MPa, una carga máxima de 2.92 N, un esfuerzo máximo de 0.62 MPa y un porcentaje de elongación de 7.60, con una

degradabilidad en suelo del 96.45% en 28 días, en el agua presentó un 76.28% en 21 días y en el aire obtuvo un porcentaje de 88.93% de degradabilidad, recordando que puede llegar a durar más tiempo si se lo mantiene en condiciones ambientales óptimas para su conservación.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda generar una línea alterna al proceso de obtención de almidón que aproveche los nutrientes que quedan en el desecho de esta etapa en donde se fabrique alimentos que ayuden a cubrir la desnutrición en niños y adultos.
- El almidón obtenido debe ser protegido de la humedad por lo que se recomienda que su almacenamiento se lo realice de forma rápida y en las condiciones adecuadas para su preservación.
- Se recomienda que durante su uso se evite el contacto con el agua, pues su degradación es más rápida y la textura se torna babosa.
- Dentro de esta investigación, se recomienda no usar moldes de vidrio, metal o silicona para la elaboración del biofilm, pues una vez seco se vuelve quebradizo y difícil de retirar.
- Se recomienda continuar con la investigación buscando otros componentes que mejoren las propiedades del biofilm obtenido y que permita reemplazar a los plásticos de un solo uso, disminuyendo la cantidad de residuos sólidos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLAVA, Ladys; et al.** “Caracterización física y microbiológica del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) producido en Canuto-Manabí (Ecuador)”. *Avances en Investigación Agropecuaria* [en línea], 2017, (Ecuador) 21(2), pág. 25-40. [Consulta: 12 Diciembre 2022]. Disponible en: <http://ww.ucol.mx/revaia/pdf/2017/mayo/2.pdf>

**ARÉVALO, A.** Uso del Almidón de Yuca para la Obtención de Alcohol Etflico [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. 2011. [Consulta: 12 febrero 2022]. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3212/1/P.AL243%20.pdf>

**AREVALO, K.** Elaboración de Plásticos Biodegradables a partir de Polisacáridos y su estudio de Biodegradación a nivel de Laboratorio y Campo [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 1996. [Consulta: 10 Junio 2021]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/4767/1/1080073271.PDF>

**ARIAS, M.** “Obtención del Almidón de la Alocacia Macrorrhiza y Cuantificación del Oxalato de Calcio”. *Tséde. Revista de Investigación Científica* [en línea], 2019, (Ecuador) 2(1). [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/11/12>

**ARISTIZÁBAL, Johanna; et al.** “Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca”. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO* [en línea], 2007, (Roma). [Consulta: 09 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

**BÁTORI, V.** Fruit wastes to biomaterials: Development of biofilms and 3D objects in a circular economy system [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctoral) University of Borås. Suecia. 2018. [Consulta: 26 Mayo 2021]. Disponible en: <http://hb.diva-portal.org/smash/get/diva2:1270941/FULLTEXT01.pdf>

**BEJARANO, N.** Evaluación de las Propiedades Fisicoquímicas de un Bioplástico Elaborado con Harina de Yuca Gelatinizada [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Buenaventura Cali. Colombia. 2014. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2443/1/Evaluacion\\_Fisioquimica\\_Bioplastico\\_Harina\\_De\\_Yuca\\_Bejarano\\_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2443/1/Evaluacion_Fisioquimica_Bioplastico_Harina_De_Yuca_Bejarano_2014.pdf)

**BERNAL, L., & MARTÍNEZ, E.** “Una nueva visión de la degradación del almidón”. *Revista del Centro de Investigación* [en línea], 2006, (México) 7(25), pág. 77-90. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/342/34202506.pdf>

**BERTOFT, E.** “Understanding Starch Structure: Recent Progress”. *Agronomy* [en línea], 2017, (Finland) 7(3). [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319297607\\_Understanding\\_Starch\\_Structure\\_Recent\\_Progress](https://www.researchgate.net/publication/319297607_Understanding_Starch_Structure_Recent_Progress)

**BLANCO, Juan; et al.** “Elaboración de una Película Plástica Biodegradable a partir del Almidón de Yuca y Pectina”. *CLIC* [en línea], 2017, (Colombia) 1(1), pág. 1-6. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.fitecvirtual.org/ojs-3.0.1/index.php/clic/article/view/252/220>

**BRITO, Hannibal; et al.** “Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)”. *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2021, (Ecuador) 7(1), pág. 216-232. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1701/3342>

**CASARRUBIAS, Guadalupe; et al.** “Diferencias Estructurales y Reológicas entre Almidones de Frutas y Cereales”. *Agrociencia* [en línea], 2012, (México) 46(5), pág. 455-466. [Consulta: 22 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n5/v46n5a3.pdf>

**CHIMBO, M.** Producción de Plástico Biodegradable para el uso en Alimentos a partir del Almidón de Residuos de Yuca [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 2021. [Consulta: 01 marzo 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14783/1/236T0544.pdf>

**CURUBETO, N.** Desarrollo de un film bioplástico comestible para reducir el pardeamiento enzimático en frutas deshidratadas [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Argentina de la Empresa. Argentina. 2016. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/7563/TESIS%20-%20CURUBETO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

**ECOEMBES.** Proyecto de Análisis de Bioplásticos [en línea]. España. 2009. [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en:

[https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/proyecto\\_bioplasticos\\_-\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/proyecto_bioplasticos_-_resumen_ejecutivo.pdf)

**ELTAYEF, A.** Plastic [en línea]. 2003. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/29067197/Plastic\\_pdf](https://www.academia.edu/29067197/Plastic_pdf)

**ESPÍN, Susana; et al.** “Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos”. *Raíces y Tubérculos Andinos* [en línea], 1999, (Ecuador), pág. 91-116. [Consulta: 13 febrero 2022]. Disponible en: [https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/RTAs\\_Ecuador\\_04.pdf](https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/RTAs_Ecuador_04.pdf)

**GARCÍA, Omar; et al.** “Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles”. *LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA* [en línea], 2013, (Colombia) 11(1), pág. 13-21. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/q0g0773z-extraccion-propiedades-funcionales-almidon-esculenta-elaboracion-peliculas-comestibles.html>

**GUAMÁN, J.** Obtención de Plásticos Biodegradables a partir de Almidón de Cáscaras de papa para su aplicación industrial [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 2019. [Consulta: 05 Julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

**HINOSTROZA, Francisco; et al.** “Cultivo de Yuca en el Ecuador”. *INIAP* [en línea], 2014, (Ecuador). [Consulta: 01 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5214/1/INIAPPEPbd436.pdf>

**JAÉN, Mercedes; et al.** “Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* [en línea], 2019, (España) 16(1), pág. 1-17. [Consulta: 02 junio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensdivulgcienc.2019.v16.i1.1501>

**LEDESMA, M.** Sustitución del Plástico por Materiales Vegetales. El caso de las vajillas desechables. Una revisión [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de La Laguna. España. 2020. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20646/Sustitucion%20del%20plastico%20por%2>

[O materiales% 20 vegetales.% 20 El% 20 caso% 20 de% 20 las% 20 vajillas% 20 desechables.% 20 Una% 20 revision..pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

**MACHADO, J.** “Ecuador es el tercer país de la región que más basura plástica importa”. *Primicias* [en línea], 2022, (Ecuador). [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos-basura-ecuador/>

**MARQUEZ, C.** “La mashua es la estrella de su negocio”. *Revista Líderes* [en línea], 2019, (Ecuador). [Consulta: 9 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/mashua-negocio-emprendimiento-yogurt-ecuador.html>

**MÉNDEZ, Á.** “Glicerol”. *La Guía* [en línea], 2010. [Consulta: 05 julio 2021]. Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/glicerol>

**MENESES, Juliana; et al.** “Síntesis y Caracterización de un Polímero Biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Revista EIA* [en línea], 2007, (Colombia) (8), pág. 57-67. [Consulta: 01 julio 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>

**MENESES, L.** Impactos y Consecuencias de la Prohibición de Plásticos de un solo uso [en línea]. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 2020. [Consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36104/MenesesPortelaLauraIsabel2020.pdf?sequence=1>

**MENOSCAL, R., & RODRÍGUEZ, E.** Elaboración de Láminas Biodegradables a partir de los Residuos del Almidón de Yuca (*Manihot esculenta*) [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". Ecuador. 2017. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>

**MINCHOLA, G.** Elaboración y degradación de bioplástico de residuos de *Solanum tuberosum* y *Tropaeolum tuberosum* en lugares de baja temperatura [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad César Vallejo. Perú. 2019. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45862>

**PILLA, I.** Desarrollo de un Material Termoplástico obtenido a partir del Almidón de Oca (*Oxalis tuberosa*) y Plastificantes [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional.

Ecuador. 2017. [Consulta: 20 diciembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17060/1/CD-7643.pdf>

**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 Alternativa para las Chifleras de Piura, Perú [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Piura. Perú. 2017. [Consulta: 09 febrero 2022]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Bioplastico.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf)

**RIVERO, C. P.; et al.** “Bioplastic From Solid Waste”. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* [en línea], 2017, pág. 1 - 26. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00001-0>

**RODRÍGUEZ, A.** “Nuevos materiales prometen sustituir al plástico en un futuro”. *El Comercio* [en línea], 2019. (Ecuador). [Consulta: 05 junio 2021]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/materiales-sustituir-plastico-contaminacion-ciencia.html>

**RODRÍGUEZ, H.** “La degradación del plástico potencia el efecto invernadero”. *National Geographic* [en línea], 2019. (España). [Consulta: 07 enero 2023]. Disponible en: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/degradacion-plastico-potencia-efecto-invernadero\\_13126](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/degradacion-plastico-potencia-efecto-invernadero_13126)

**ROSALES, A.** Obtención de biopolímero a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN – Managua [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma de Nicaragua. Nicaragua. 2016. [Consulta: 01 julio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>

**ROSS, Gareth; et al.** Bioplastics: New Routes, New Products [en línea]. *Brydson's Plastics Materials (Eighth Edition)*. (2017), págs. 631-652. [Consulta: 02 junio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00023-2>

**RUIZ, G.** “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Ingeniería y Ciencia* [en línea], 2006, (Colombia) 2(4), pág. 5-28. [Consulta: 03 julio 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>

**SAMANIEGO, L.** Caracterización de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* C.) en el Ecuador [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica Equinoccial. Ecuador. 2010. [Consulta: 10 marzo 2022]. Disponible en: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4870/1/41732\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4870/1/41732_1.pdf)

**SÍVOLI, L.; et al.** “Análisis estructural del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas”. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia* [en línea], 2012, (Venezuela) 29, pág. 293-313. [Consulta: 12 diciembre 2022].

**SULBARÁN, P.** “Qué es la yuca amarga que vinculan con varias muertes en Venezuela y por qué es tan peligrosa”. *BBC News* [en línea], 2017. [Consulta: 8 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-39213495>

**SUQUILANDA, M.** “Producción Orgánica de Cultivos Andinos. Ecuador”. *FAO* [en línea], 2012. [Consulta: 9 febrero 2022]. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/mountain\\_partnership/docs/1\\_produccion\\_organica\\_de\\_cultivos\\_andinos.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf)

**SURCO, F.** Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. 2004. [Consulta: 20 febrero 2022]. Disponible en: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2588/Surco\\_1f.pdf?sequence=1](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2588/Surco_1f.pdf?sequence=1)

**TASGACHO, C.** Diseño de un Proceso Industrial para la Obtención de Almidón a partir de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 2018. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10423/1/96T00476.pdf>

**TECHEIRA, Nora; et al.** “Caracterización Físicoquímica, Funcional y Nutricional de Harinas Crudas Obtenidas a partir de diferentes variedades de Yuca (*Manihot esculenta*), Batata (*Ipomoea batatas*) y Ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela”. *INTERCIENCIA* [en línea], 2014, (Venezuela) 39(3), pág. 191-197. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/191-c-TECHEIRA-7.pdf>

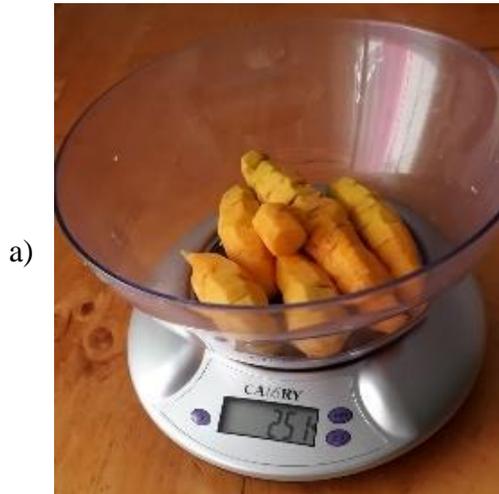
**TOVAR, T.** Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 2008. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion%20morfolologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**VELÁSQUEZ, F., & VELEZMORO, C.** “Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos”. *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2018, (Perú) 9(2). [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>

**YUNGÁN, Á.** Efecto del Método de Extracción del Almidón de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) en las Características Físico-químicas y Reológicas [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. 2015. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15884/1/AL%20587%20.pdf>

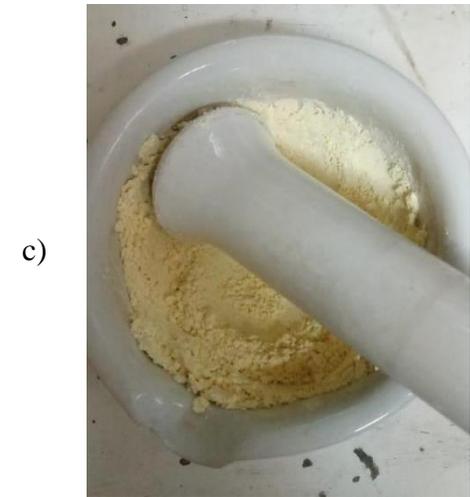
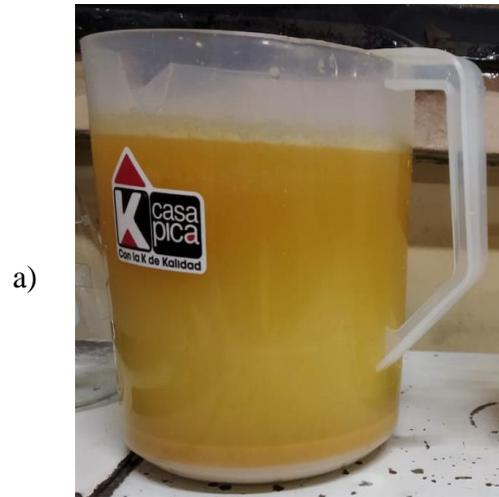
**ANEXOS**

**ANEXO A: EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) PARTE I**



<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input checked="" type="checkbox"/> Información calificar                      <input type="checkbox"/> Por         </p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b>            ELABORADO POR:            Karen Robalino</p>	<p><b>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) PARTE I</b></p>		
<p>a) Selección de materia prima.            b) Trituración de materia prima.            c) Filtrado.</p>			<p><b>LÁMINA</b></p> <p>1</p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p>1:4</p>	<p><b>FECHA</b></p> <p>10/12/2022</p>

**ANEXO B: EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) PARTE II**



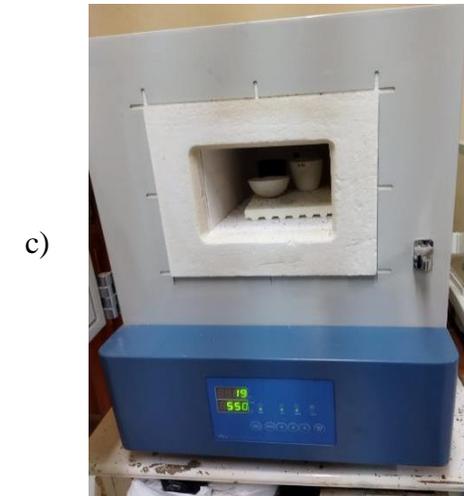
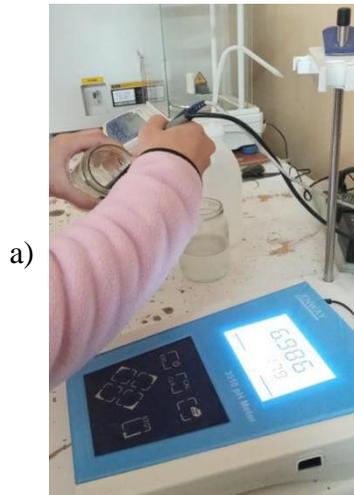
NOTAS:	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR: Karen Robalino</p>	<p>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MASHUA (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) PARTE II</p>		
<p>a) Sedimentación</p> <p>b) Secado</p> <p>c) Molido</p>			<p><b>LÁMINA</b></p> <p>2</p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p>1:4</p>	<p><b>FECHA</b></p> <p>10/12/2022</p>

**ANEXO C: EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)**



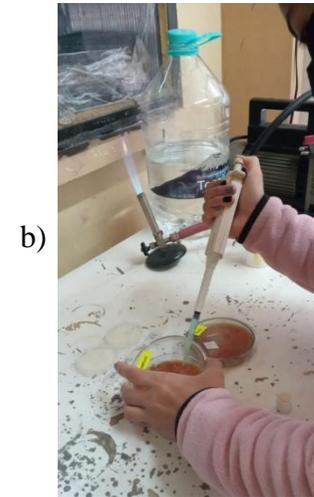
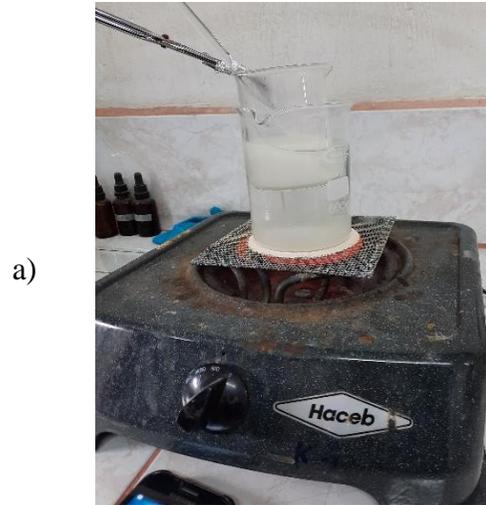
<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar                 </p>	<p> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b>                      ELABORADO POR:                      Karen Robalino                 </p>	<p><b>EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA (<i>Manihot esculenta</i>)</b></p>		
<p>                     d) Selección de materia prima.                      e) Trituración de materia prima.                      f) Sedimentado.                 </p>			<p><b>LÁMINA</b></p> <p>3</p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p>1:4</p>	<p><b>FECHA</b></p> <p>10/12/2022</p>

**ANEXO D: ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE I**



NOTAS:	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>  <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b> ELABORADO POR: Karen Robalino	<b>ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE I</b>		
a) Prueba pH. b) Prueba Humedad. c) Prueba Ceniza.			<b>LÁMINA</b> 4	<b>ESCALA</b> 1:4	<b>FECHA</b> 10/12/2022

**ANEXO E: ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE II**



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE	ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DEL MASHUA Y ALMIDÓN DE YUCA PARTE II		
a) Determinación de la temperatura de gelatinización. b) Análisis microbiológico.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información calificar <input type="checkbox"/> Por	CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Karen Robalino			
			5	1:4	10/12/2022

ANEXO F: ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN DE MASHUA Y DEL ALMIDÓN DE YUCA

MC-LSAIA-2201-07

	<b>INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b> <b>ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b> <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD</b> <b>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS</b> Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340	

INFORME DE ENSAYO No: 22-0157

<b>**NOMBRE PETICIONARIO:</b>	Srta. Karen Robalino	<b>**INSTITUCIÓN:</b>	Particular
<b>**DIRECCIÓN:</b>	Riobamba	<b>**ATENCIÓN:</b>	Srta. Karen Robalino
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	20/12/2022	<b>FECHA DE RECEPCIÓN.:</b>	08/12/2022
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	Del 08 al 20 de diciembre del 2022	<b>HORA DE RECEPCIÓN:</b>	8h42
		<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA <sup>Ω</sup>	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	-
22-0772	9,81	35,04	Almidón de Mashua
22-0773	12,63	35,69	Almidón de Yuca

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME



Firmado electrónicamente por:  
**IVAN RODRIGO SAMANIEGO**  
 MAIGUA

**Dr. MSc. Iván Samaniego**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Firmado electrónicamente por:  
**VERONICA ALEXANDRA ARIAS BENITES**

**Quím. Verónica Arias**  
**ANALISTA DE LABORATORIO**

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

## ANEXO G: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA MATERIA PRIMA



### RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

**NOMBRE:** Srta. Marcela Robalino

**TIPO DE MUESTRA**

Muestra 1 Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Muestra 2 Yuca (*Manihot esculenta*)

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA:** 14 de febrero del 2022

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** 21 de febrero del 2022

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Muestra 1 Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Muestra 2 Yuca (*Manihot esculenta*)

Determinaciones	Unidades	Métodos de Análisis	Muestra 1	Muestra 2
Proteína	%	Método Kjeldahl	1.03	3.50
Fibra	%	INEN 523	1.83	2.10
Humedad	%	INEN 1235	85.57	66.16
Ceniza	%	INEN 401	1.10	0.98
Azúcares totales	%	-	2.30	-

**RESPONSABLE:**

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

## ANEXO H: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA YUCA (*Manihot esculenta*)



### INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: *Sra. Marcela Robalino*

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: *14 de febrero del 2022*

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: *21 de febrero del 2022*

LOCALIDAD: *Riobamba*

Tipo de Muestra: *Yuca (Manihot esculenta)*

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

RESPONSABLE:

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 📞032 942 322  
Saqmic Laboratorio 📍  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**

## ANEXO I: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)



### INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

**ANÁLISIS SOLICITADO POR:** Srta. Marcela Robalino

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA:** 14 de febrero del 2022

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** 21 de febrero del 2022

**LOCALIDAD:** Riobamba

**Tipo de Muestra:** Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

**RESPONSABLE:**

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 📞032 942 322  
Saqmic Laboratorio 📍  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**

**ANEXO J: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)**



**INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

**ANÁLISIS SOLICITADO POR:** Srta. Marcela Robalino  
**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA:** 14 de febrero del 2022  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** 21 de febrero del 2022  
**LOCALIDAD:** Riobamba

**Tipo de Muestra:** Almidón de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

**RESPONSABLE:**

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**

## ANEXO K: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)



### INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: *Srta. Marcela Robalino*

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: *14 de febrero del 2022*

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: *21 de febrero del 2022*

LOCALIDAD: *Riobamba*

Tipo de Muestra: *Almidón de Yuca (Manihot esculenta)*

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

RESPONSABLE:

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**

**ANEXO L: ELABORACIÓN DEL BIOFILM PARTE I**

a)



b)



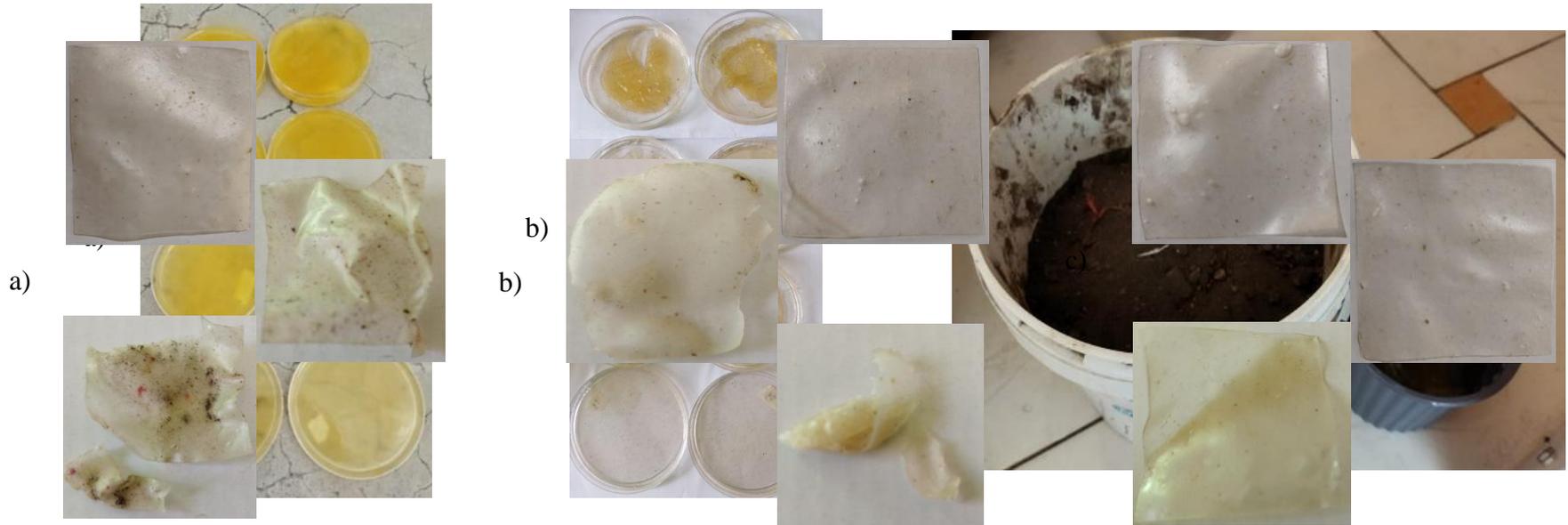
c)



<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>ELABORACIÓN DEL BIOFILM</b></p>		
<p>a) Homogenización a baño maría. b) Método Casting. c) Secado del biofilm.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado                    <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información                    <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>ELABORADO POR: Karen Robalino</p>	<p><b>PARTE I</b></p>		
			<p><b>LÁMINA</b></p>	<p><b>ESCALA</b></p>	<p><b>FECHA</b></p>
			<p>6</p>	<p>1:4</p>	<p>10/12/2022</p>

**ANEXO M: ELABORACIÓN DEL BIOFILM PARTE II**

**ANEXO N: BIODEGRADACIÓN DEL BIOFILM**



NOTAS:	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ELABORACIÓN DEL BIOFILM</b>		
NOTAS:	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>BIODEGRADACIÓN DEL BIOFILM</b>		
d) Preparación muestras por diseño experimental.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobación <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE FACULTAD DE CIENCIAS CHIMBORAZO CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE CIENCIAS ELABORADO POR: CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Karen Robalino ELABORADO POR: Karen Robalino		
e) Biodegradación en suelo.		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
f) Secado de las muestras.		7	1:4	10/12/2022
g) Biodegradación en agua.		8	1:4	10/12/2022
h) Biodegradación en aire.				
i) Preparación muestras para biodegradabilidad				

# ANEXO O: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE MASHUA Y YUCA



## INFORME DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: *Srta. Marcela Robalino*  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: *14 de febrero del 2022*  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: *21 de febrero del 2022*  
LOCALIDAD: *Riobamba*

**Tipo de Muestra:** Bioplástico a base de almidón de mashua y yuca

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Humedad	%	INEN 1235	0.98
Coliformes totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

RESPONSABLE:

**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.



saqmic  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador



**ANEXO P: ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T1**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 01	
SOLICITADO POR:	Karen Marcela Robalino
PROYECTO DE TESIS:	"ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN DE MASHUA ( <i>Tropacolum tuberosum</i> ) Y YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) PARA SU USO COMO EMBALAJE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	27-ene-23
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T1 (3g-2ml)
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.2
ANCHURA [mm]	14.86
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	2.97
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.370.E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.95
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.32
CARGA MAXIMA [N]	1.00
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.34
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	7.04
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

ANEXO Q: ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T2



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 02	
SOLICITADO POR:	Karen Marcela Robalino
PROYECTO DE TESIS:	"ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN DE MASHUA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) Y YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) PARA SU USO COMO EMBALAJE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	27-ene-23
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2 (3g-3ml)
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.23
ANCHURA [mm]	13.92
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	3.20
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.370.E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.74
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.23
CARGA MAXIMA [N]	0.77
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.24
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	6.04
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 éste documento.

1/1

**ANEXO R: ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T3**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Karen Marcela Robalino
PROYECTO DE TESIS:	"ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN DE MASHUA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) Y YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) PARA SU USO COMO EMBALAJE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	27-ene-23
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T3 (4g-2ml)
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.31
ANCHURA [mm]	15.15
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	4.70
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.370.E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.72
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.58
CARGA MAXIMA [N]	2.92
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.62
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	7.60
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 éste documento.

1/1

**ANEXO S: ENSAYO DE TRACCIÓN DEL T4**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
<b>Denominación:</b> RG 18 - 1	
Nº 04	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Karen Marcela Robalino
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ELABORACIÓN DE UN BIOFILM A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN DE MASHUA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) Y YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> ) PARA SU USO COMO EMBALAJE DE ALIMENTOS"
<b>DIRECCION:</b>	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	BIOPLÁSTICO
<b>MATERIAL:</b>	LÁMINA DE PLÁSTICO
<b>FECHA DE FABRICACIÓN:</b>	2023 - 01
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	NTE INEN 2635:012
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	27-ene-23
<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-201650006 <b>CÓD IDENT:</b> M2
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL</b>	T4 (4g-3ml)
<b>CARACTERÍSTICA</b>	TRANSPARENTE
<b>ESPESOR [mm]</b>	0.25
<b>ANCHURA [mm]</b>	15.47
<b>LONGITUD INICIAL [mm]</b>	25.00
<b>SECCION TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]</b>	3.87
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]</b>	1.370.E+01
<b>CARGA DE FLUENCIA [N]</b>	1.82
<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]</b>	0.47
<b>CARGA MAXIMA [N]</b>	2.00
<b>ESFUERZO MAXIMO [MPa]</b>	0.52
<b>PORCENTAJE DE ELONGACION [%]</b>	6.04
<b>OBSERVACIONES:</b>	

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. MsC.  
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 éste documento.

1/1