



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL  
PERICARPIO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) Y  
PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) PARA EL  
RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** ADRIANA PAMELA CAIZA ILBAY

**DIRECTORA:** Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

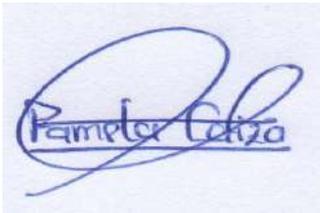
© 2021, **Adriana Pamela Caiza Ilbay**

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

Yo, Adriana Pamela Caiza Ilbay, 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, 16 de diciembre de 2021

A handwritten signature in blue ink on a light blue background. The signature is stylized and appears to read 'Pamela Caiza'.

**Adriana Pamela Caiza Ilbay**

**060501900-9**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL PERICARPIO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) Y PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) PARA EL RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS**, realizado por la señorita: **ADRIANA PAMELA CAIZA ILBAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros 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>
<p>Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MSc.  <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b></p>	 <p>Firmado electrónicamente por:  <b>MABEL MARIELA  PARADA RIVERA</b></p>	<p>2021-12-16</p>
<p>Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos MSc.  <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE  INTEGRACIÓN CURRICULAR</b></p>	<p>LINDA  MARIUXI  FLORES  FIALLOS</p> <hr/> <p>Firmado digitalmente por:LINDA  MARIUXI FLORES FIALLOS  DN: c=LINDA MARIUXI FLORES  FIALLOS, o=SECURITY  DATA S.A., ou=ENTIDAD DE  CERTIFICACION DE  INFORMACION  Motivo: Soy el autor de este  documento  Ubicacion:  Fecha: 2022-01-04 18:17:05.00</p>	<p>2021-12-16</p>
<p>Bq. Cristina Nataly Villegas Freire  <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b></p>	<p>CRISTINA  NATALY  VILLEGAS  FREIRE</p> <hr/> <p>Firmado digitalmente por:CRISTINA  NATALY VILLEGAS FREIRE  DN: c=CRISTINA NATALY  VILLEGAS FREIRE, o=EC,  o=SECURITY DATA S.A. 1  ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION  DE INFORMACION  Motivo: Soy el autor de este  documento  Ubicacion:  Fecha: 2022-01-11 18:27:05.00</p>	<p>2021-12-16</p>

## **DEDICATORIA**

Se la dedico a mis padres Victor y Esperanza por ser mi apoyo incondicional en todo momento, por nunca dejarme caer a pesar de todas las dificultades, por ser las personas más importantes en mi vida; a mis hermanos Cristian y Marcelo que siempre me ayudaron, me dieron palabras de aliento cuando las necesitaba. Se la dedico a mi tía Beatriz que es como mi segunda mamá y siempre está pendiente en todo momento; a mis sobrinas Alison y Victoria que llegaron a dar mucha alegría a mi vida, también se la dedico a mi Martín perrito fiel que siempre me acompañó en mis noches de desvelo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme tantas oportunidades, por guiar mi camino y siempre bendecirme; agradezco a mis padres Victor y Esperanza por sus sacrificios y dedicación hacia mí, por ser mi mayor motivación para terminar mis estudios, por depositarme toda su confianza. Agradezco infinitamente a toda mi familia que siempre me dio palabras de aliento para seguir adelante y no decaer.

## TABLA DE CONTENIDOS

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

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Antecedentes de la Investigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Marco teórico.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1. Maracuyá (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>).....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1.1. Taxonomía.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1.2. Características Morfológicas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1.3. Producción de Maracuyá en el Ecuador.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1.4. Composición química del maracuyá.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1.5. Cáscara de maracuyá.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1.6. Composición Nutricional de la cáscara de maracuyá.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2. Plátano verde (<i>musa paradisiaca</i>).....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2.1. Taxonomía.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2.2. Botánica de la planta.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2.3. Producción de plátano verde en Ecuador.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2.4. Composición química del plátano verde.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2.5. Composición Nutricional del plátano verde.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.3. Almidón.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.3.1. Amilosa.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.3.2. Amilopectina.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.4. Bioplástico.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.5. Clasificación de los bioplásticos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.5.1. Bioplásticos procedentes de recursos renovables.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.5.2. Polímeros biodegradables procedentes de la industria petroquímica.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.5.3. Bioplásticos sintetizados por vía tecnológica.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.6. Aditivos de películas biodegradables.....</b>	<b>14</b>

1.2.6.1.	<i>Ácido acético</i> .....	14
1.2.7.	<b>Plastificantes</b> .....	15
1.2.7.1.	<i>Glicerol (Glicerina)</i> .....	15
1.2.7.2.	<i>Carboximetilcelulosa CMC</i> .....	16
1.2.8.	<b>Biodegradabilidad</b> .....	17
1.2.9.	<b>Aplicación en el embalaje de alimentos</b> .....	17
1.2.10.	<b>Plásticos convencionales</b> .....	17
1.2.11.	<b>Bioplásticos vs plásticos tradicionales</b> .....	18

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1.	<b>Objetivos</b> .....	19
2.1.1.	<b>General</b> .....	19
2.1.2.	<b>Específicos</b> .....	19
2.2.	<b>Hipótesis y especificación de variables</b> .....	19
2.2.1.	<b>Hipótesis General</b> .....	19
2.2.2.	<b>Hipótesis Específicas</b> .....	19
2.2.3.	<b>Identificación de Variables</b> .....	20
2.2.4.	<b>Operacionalización de Variables</b> .....	21
2.2.5.	<b>Matriz de Consistencia</b> .....	23
2.3.	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	25
2.3.1.	<b>Tipo de investigación</b> .....	25
2.3.1.1.	<i>Según el método de investigación</i> .....	25
2.3.1.2.	<i>Según el objeto de investigación</i> .....	25
2.3.1.3.	<i>Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio</i> .....	25
2.3.1.4.	<i>Según la manipulación de variables</i> .....	25
2.3.1.5.	<i>Según el tipo de interferencia</i> .....	25
2.3.1.6.	<i>Según el período temporal</i> .....	25
2.3.2.	<b>Diseño experimental de la Investigación</b> .....	26
2.3.2.1.	<i>Diseño experimental factorial <math>2^k</math></i> .....	26
2.3.2.2.	<i>Diseño factorial <math>2k</math> para la obtención de almidón de plátano verde</i> .....	26
2.3.2.3.	<i>Diseño factorial <math>2k</math> para la extracción de almidón de pericarpio de maracuyá</i> .....	26
2.3.2.4.	<i>Diseño factorial <math>2k</math> para la formulación de la biopelícula a partir de almidones de plátano verde y pericarpio de maracuyá</i> .....	27
2.3.3.	<b>Descripción de los equipos, materiales, reactivos y materia prima</b> .....	27
2.3.3.1.	<b>Equipos</b> .....	28

2.3.3.2.	<i>Materiales</i> .....	28
2.3.3.3.	<i>Reactivos</i> .....	28
2.3.3.4.	<i>Materia prima</i> .....	28
2.4.	<b>Unidad de Análisis</b> .....	28
2.5.	<b>Población de Estudio</b> .....	29
2.6.	<b>Tamaño de Muestra</b> .....	29
2.7.	<b>Selección de muestra</b> .....	29
2.8.	<b>Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	29
2.8.1.	<i>Técnica de extracción de almidón del pericarpio de maracuyá mediante el método seco</i> .....	29
2.8.2.	<i>Técnica de extracción de almidón de plátano verde mediante el método húmedo</i>	31
2.8.3.	<i>Técnica de caracterización del almidón</i> .....	33
2.8.3.1.	<i>Prueba de Índice de Solubilidad</i> .....	33
2.8.3.2.	<i>Prueba de Ph</i> .....	34
2.8.3.3.	<i>Prueba de Temperatura de Gelatinización</i> .....	34
2.8.3.4.	<i>Prueba de Densidad</i> .....	35
2.8.3.5.	<i>Prueba de Viscosidad</i> .....	35
2.8.3.6.	<i>Prueba de Humedad</i> .....	36
2.8.3.7.	<i>Prueba de Cenizas</i> .....	36
2.8.3.8.	<i>Prueba de contenido de fibra y proteína</i> .....	37
2.8.3.9.	<i>Prueba de amilosa y amilopectina</i> .....	37
2.8.3.10.	<i>Pruebas microbiológicas</i> .....	37
2.8.4.	<i>Técnica de obtención de biopelículas</i> .....	38
2.8.5.	<i>Técnica de caracterización de las biopelículas</i> .....	39
2.8.5.1.	<i>Espesor</i> .....	39
2.8.5.2.	<i>Humedad</i> .....	39
2.8.5.3.	<i>Medición de la tracción</i> .....	40
2.8.5.4.	<i>Medición de solubilidad del plástico</i> .....	40
2.8.5.5.	<i>Medición de permeabilidad del plástico</i> .....	41
2.8.5.6.	<i>Medición de biodegradabilidad</i> .....	42

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	43
3.1.	<b>Resultados</b> .....	43
3.1.1.	<i>Resultados del diseño experimental 2<sup>2</sup> para obtener el mejor rendimiento en la extracción de plátano verde</i> .....	43

3.1.2.	<i>Resultados del diseño experimental 2<sup>2</sup> para obtener el mejor rendimiento en la extracción del almidón de pericarpio de maracuyá</i> .....	47
3.1.3.	<i>Resultados del análisis físico químico del almidón obtenido a partir de pericarpio del maracuyá y plátano verde</i> .....	50
3.1.4.	<i>Resultados del análisis proximal del almidón de pericarpio del maracuyá y plátano verde</i> .....	52
3.1.5.	<i>Resultados del análisis microbiológico del almidón obtenido a partir de pericarpio del maracuyá y plátano verde</i> .....	53
3.1.6.	<i>Formulaciones planteadas para elaborar biopelículas aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup></i> .....	54
3.1.7.	<i>Resultados de la caracterización de las biopelículas obtenidas</i> .....	57
3.1.7.1.	<i>Análisis de humedad</i> .....	57
3.1.7.2.	<i>Análisis de solubilidad</i> .....	58
3.1.7.3.	<i>Análisis de Permeabilidad al vapor de agua</i> .....	60
3.1.7.4.	<i>Análisis de Biodegradabilidad</i> .....	61
3.1.8.	<i>Resultados de la caracterización mecánica de las biopelículas</i> .....	66
3.1.8.1.	<i>Ensayo de Espesor</i> .....	66
3.1.8.2.	<i>Ensayo de Tracción</i> .....	68
3.1.9.	<i>Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto</i> .....	69
3.2.	<b>Prueba de Hipótesis</b> .....	70
3.2.1.	<i>Determinación de la extracción de almidón a partir del pericarpio de maracuyá (<i>passiflora edulis f. flavicarpa</i>) por el método seco y plátano verde (<i>musa paradisiaca</i>) por el método húmedo</i> .....	70
3.2.2.	<i>Evaluación del contenido de amilosa presente en los almidones para la elaboración de biopelículas</i> .....	71
3.2.3.	<i>Los plastificantes determinan propiedades en las biopelículas obtenidas</i> .....	71
3.2.4.	<i>Validación de la biopelícula en el uso para la conservación de las características organolépticas de los alimentos</i> .....	72
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	73
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	75
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Clasificación taxonómica del maracuyá.....	4
<b>Tabla 2-1:</b>	Composición Nutricional de la cáscara de maracuyá.....	7
<b>Tabla 3-1:</b>	Clasificación taxonómica del plátano verde.....	9
<b>Tabla 4-1:</b>	Composición nutricional de la pulpa de plátano.....	10
<b>Tabla 1-2:</b>	Identificación de las variables de extracción de almidón.....	20
<b>Tabla 2-2:</b>	Identificación de las variables de obtención de las biopelículas.....	20
<b>Tabla 3-2:</b>	Operacionalización de variables que intervienen en el proceso de extracción de almidón.....	21
<b>Tabla 4-2:</b>	Operacionalización de variables que intervienen en el proceso obtención de biopelícula.....	22
<b>Tabla 5-2:</b>	Matriz de Consistencia.....	23
<b>Tabla 6-2:</b>	Variables y tratamientos para la extracción del almidón de plátano verde aplicando el diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	26
<b>Tabla 7-2:</b>	Variables y tratamientos para la extracción del almidón de pericarpio de maracuyá aplicando el diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	27
<b>Tabla 8-2:</b>	Variables y tratamientos para la formulación de biopelículas aplicando el diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	27
<b>Tabla 9-2:</b>	Método para medición de Índice de Solubilidad.....	33
<b>Tabla 10-2:</b>	Método para medición de pH.....	34
<b>Tabla 11-2:</b>	Método para medición de temperatura de gelatinización.....	34
<b>Tabla 12-2:</b>	Método para medición de densidad.....	35
<b>Tabla 13-2:</b>	Método para medición de viscosidad.....	35
<b>Tabla 14-2:</b>	Método para medición de humedad.....	36
<b>Tabla 15-2:</b>	Método para medición de cenizas.....	36
<b>Tabla 16-2:</b>	Método para la obtención de biopelículas.....	38
<b>Tabla 17-2:</b>	Método de medición de espesor.....	39
<b>Tabla 18-2:</b>	Método de medición de humedad.....	39
<b>Tabla 19-2:</b>	Método de medición de solubilidad.....	40
<b>Tabla 20-2:</b>	Método de medición de permeabilidad.....	41
<b>Tabla 21-2:</b>	Método de medición de biodegradabilidad.....	42
<b>Tabla 1-3:</b>	Rendimiento de tratamientos para la obtención de almidón de plátano verde ( <i>Musa paradisíaca</i> ).....	44
<b>Tabla 2-3:</b>	Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos en la extracción de almidón de plátano verde ( <i>Musa paradisíaca</i> ).....	45
<b>Tabla 3-3:</b>	Análisis de Tukey para la extracción de almidón de plátano verde.....	45

<b>Tabla 4-3:</b>	Rendimiento de tratamientos para la obtención de almidón de pericarpio de maracuyá ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ).....	48
<b>Tabla 5-3:</b>	Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos en la extracción de almidón del pericarpio de maracuyá ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ).....	49
<b>Tabla 7-3:</b>	Resultados del análisis físico químico del almidón de pericarpio del maracuyá.....	50
<b>Tabla 8-3:</b>	Resultados del análisis físico químico del almidón de plátano verde.....	50
<b>Tabla 9-3:</b>	Resultados del análisis proximal del almidón de pericarpio del maracuyá.....	52
<b>Tabla 10-3:</b>	Resultados del análisis proximal del almidón de plátano verde.....	52
<b>Tabla 11-3:</b>	Resultados del análisis microbiológico del almidón de pericarpio del maracuyá.....	53
<b>Tabla 12-3:</b>	Resultados del análisis microbiológico del almidón de plátano verde.....	53
<b>Tabla 13-3:</b>	Formulaciones para elaborar biopelículas.....	54
<b>Tabla 14-3:</b>	Resultado del análisis factorial 2 <sup>2</sup> en la obtención de biopelículas.....	55
<b>Tabla 15-3:</b>	Análisis de varianza de las formulaciones para obtener biopelículas.....	56
<b>Tabla 16-3:</b>	Análisis de humedad de las biopelículas.....	57
<b>Tabla 17-3:</b>	Análisis de solubilidad de las biopelículas.....	58
<b>Tabla 18-3:</b>	Análisis de permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas.....	60
<b>Tabla 19-3:</b>	Resultados de biodegradabilidad en aire.....	62
<b>Tabla 20-3:</b>	Resultados de la apariencia de la biodegradación en aire.....	62
<b>Tabla 21-3:</b>	Resultados de biodegradabilidad en agua.....	63
<b>Tabla 22-3:</b>	Resultados de la apariencia de la biodegradación en agua.....	64
<b>Tabla 23-3:</b>	Resultados de biodegradabilidad en suelo.....	64
<b>Tabla 24-3:</b>	Resultados de la apariencia de la biodegradación en suelo.....	65
<b>Tabla 25-3:</b>	Resultados del ensayo de espesor de las biopelículas.....	66
<b>Tabla 26-3:</b>	Resultados del ensayo de tracción de las biopelículas.....	68
<b>Tabla 27-3:</b>	Análisis sensorial de la frutilla envuelta con la biopelícula.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Flor de maracuyá.....	5
<b>Figura 2-1:</b>	Fruto de maracuyá amarillo.....	6
<b>Figura 3-1:</b>	Plátano verde.....	8
<b>Figura 4-1:</b>	Estructura de la amilosa.....	12
<b>Figura 5-1:</b>	Estructura de la amilopectina.....	13
<b>Figura 8-1:</b>	Fórmula estructural del ácido acético.....	14
<b>Figura 6-1:</b>	Fórmula estructural del glicerol.....	15
<b>Figura 7-1:</b>	Estructura química de carboximetilcelulosa.....	16
<b>Figura 2-1:</b>	Secado de materia prima.....	31
<b>Figura 2-2:</b>	Licuado de materia prima.....	33
<b>Figura 1-3:</b>	Tratamientos en la obtención de almidón de plátano verde.....	46
<b>Figura 2-3:</b>	Tratamientos en la obtención de almidón de pericarpio de maracuyá.....	47
<b>Figura 3-3:</b>	Biopelículas obtenidas a partir del diseño 2 <sup>2</sup> .....	56
<b>Figura 4-3:</b>	Análisis de humedad de la biopelícula.....	58
<b>Figura 5-3:</b>	Medición de espesor de la biopelícula.....	67
<b>Figura 4-3:</b>	Ensayo de tracción.....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Diagrama de flujo para la extracción de almidón del pericarpio de maracuyá...	30
<b>Gráfico 2-2:</b>	Diagrama de flujo para la extracción de almidón a partir de plátano verde.....	32
<b>Gráfico 1-3:</b>	Análisis gráfico del porcentaje de humedad en las biopelículas.....	57
<b>Gráfico 2-3:</b>	Análisis gráfico del porcentaje de solubilidad en las biopelículas.....	59
<b>Gráfico 2-3:</b>	Análisis gráfico del porcentaje de permeabilidad en las biopelículas.....	60
<b>Gráfico 3-3:</b>	Análisis gráfico de biodegradabilidad.....	62
<b>Gráfico 4-3:</b>	Análisis gráfico de biodegradabilidad en agua.....	63
<b>Gráfico 5-3:</b>	Análisis gráfico de biodegradabilidad en suelo.....	65
<b>Gráfico 6-3:</b>	Análisis gráfico del espesor de las biopelículas.....	67

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE
- ANEXO B:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PERICARPIO DE MARACUYÁ
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN EXTRAÍDO
- ANEXO D:** ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS
- ANEXO F:** ANÁLISIS SENSORIAL DE LA FRUTILLA RECUBIERTA
- ANEXO G:** RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AMILOSA
- ANEXO H:** RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PERICARPIO DE MARACUYÁ
- ANEXO I:** RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PLÁTANO VERDE
- ANEXO J:** MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS PARA PRUEBAS DE TRACCIÓN
- ANEXO K:** INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T1
- ANEXO L:** INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T2
- ANEXO M:** INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T3
- ANEXO N:** INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T4

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo la obtención de una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*) para el recubrimiento de alimentos. Inicialmente se procedió con la extracción de almidón del pericarpio de maracuyá por el método seco, aplicando el diseño factorial  $2^2$ , tomando en cuenta dos variables: tiempo de secado (12 - 24 horas) y temperatura de secado (50 - 60 °C). Para la extracción del almidón de plátano verde se utilizó el método húmedo también aplicando el diseño factorial  $2^2$  con la variación de la velocidad (alta-baja) y tiempo de trituración (30-60 segundos). En ambos métodos se realizó cuatro tratamientos con cuatro repeticiones de cada uno. Los almidones obtenidos se caracterizaron efectuando pruebas físico-químicas proximales y microbiológicas para determinar la calidad de los almidones extraídos. Posteriormente se realizó la formulación de las biopelículas, empleando el diseño factorial 2 al cuadrado, variando la concentración de carboximetilcelulosa y almidón de pericarpio de maracuyá entre 1-1,5 ml y 1-2 g respectivamente; mientras que el almidón de plátano verde, glicerina, ácido acético y agua destilada permanecieron constantes. Las biopelículas obtenidas fueron caracterizadas mediante análisis de humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor, espesor, ensayo de tracción, biodegradación y aplicación en un alimento; con la finalidad de determinar la biopelícula con mejores características. Finalmente, se realizó un análisis de varianza determinando el mejor tratamiento de extracción para el almidón de pericarpio de maracuyá y de plátano verde, siendo éste el tratamiento dos, el cuál presentó mayor porcentaje de rendimiento. La formulación idónea de la biopelícula fue el tratamiento cuatro presentando óptimas propiedades. Partiendo de lo analizado y comparando con el trabajo de varios autores, se recomienda la biopelícula en la aplicación de recubrimiento de alimentos, siendo la misma confiable.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA QUÍMICA>, <PERICARPIO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)>, <PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*)>, <BIOPELÍCULA>, <ALMIDÓN>, <EXTRACCIÓN>, <CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA>



1487-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY/ABSTRACT

The objective of this research project was to obtain a biofilm from the pericarp of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*) and green banana (*Musa paradisiaca*) for coating food. Initially, it proceeded with the extraction of starch from the passion fruit pericarp by the dry method, applying the  $2^2$  factorial design, taking into account two variables: drying time (12 - 24 hours) and drying temperature (50 - 60 °C). For the extraction of green banana starch, the wet method was used, also applying the  $2^2$  factorial design with the variation of speed (high-low) and crushing time (30-60 seconds). In both methods, four treatments were carried out with four repetitions of each one. The starches obtained were characterized by carrying out proximal physical-chemical and microbiological tests to determine the quality of the extracted starches. Subsequently, the biofilm formulation was carried out, using the  $2^2$  factorial design, varying the concentration of carboxymethylcellulose and passion fruit pericarp starch between 1-1.5 ml and 1-2 g respectively; while the green banana starch, glycerin, acetic acid and distilled water remained constant. The biofilms obtained were characterized by analysis of moisture, solubility, vapor permeability, thickness, traction test, biodegradation and application in a food; in order to determine the biofilm with the best characteristics. Finally, an analysis of variance was carried out determining the best extraction treatment for the pericarp starch of passion fruit and green banana, this being treatment two, which presented the highest percentage of yield. The ideal biofilm formulation was treatment four, presenting optimal properties. Based on what has been analyzed and comparing with the work of several authors, biofilm is recommended in the application of food coating, being the same reliable one.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING>, <PASSION FRUIT PERICARP (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*)>, <GREEN BANANA (*Musa paradisiaca*)>, <BIOFILM>, <STARCH>, <EXTRACTION>, <PHYSICAL CHEMICAL CHARACTERIZATION>.



Firmado electrónicamente por:

**NANCI  
MARGARITA  
INCA CHUNATA**

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación “Obtención de una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*) para el recubrimiento de alimentos”, se centra en la obtención de almidón (polímero) empleando como materia prima el maracuyá y plátano verde, mismos que mediante los procesos de extracción por el método seco y método húmedo fueron caracterizados para obtener la biopelícula a la cual se añadió aditivos y plastificantes que permitieron que la calidad de la misma sea excelente manteniendo las características organolépticas de los alimentos.

En la actualidad los plásticos convencionales son uno de los materiales más utilizados por su variedad, veledad de usos, peso y facilidad de elaboración. Pero gracias a estas mismas características los plásticos son uno de los causantes de agravar la contaminación ambiental.

De acuerdo con (Flores, 2013, p.2) la contaminación ambiental en los países en vías de desarrollo es la principal consecuencia de los malos procedimientos que se les da a los desechos sólidos. Esto se debe a la falta de experiencia y de tecnología adecuada que es de vital importancia para el correcto tratamiento de estos residuos.

Gracias al uso abundante de plásticos convencionales que las personas tenemos día a día, provocamos ya sea consciente o inconscientemente una gran cantidad de basura lo cual es un problema para el medio ambiente, recordemos que la vida útil de un plástico va hasta 50 años o más después de haberse producido. Es decir que durante todo este tiempo esta basura estará contaminando mares, ríos, océanos, bosques, ciudades, etc.

Los denominados bioplásticos tienen un gran peso molecular y son creados a partir de varias fuentes naturales como cultivos de varios poliésteres, celulosa, almidón y quitosano. Una de las materias primas fundamentales para obtener bioplásticos es el almidón debido a que se encuentra en varios productos, es decir tiene gran disponibilidad, es biodegradable o renovable también tiene un costo bajo en cuanto al precio del petróleo (Chariguamán, 2015, p.1).

Por ello que la presente investigación es sobre la elaboración de biopelículas generadas a partir de almidón de la cáscara de maracuyá y de almidón de plátano verde, lo que reduce considerablemente el tiempo de descomposición o de biodegradación de las mismas. Estas biopelículas podrán ser utilizadas para el recubrimiento y conservación de alimentos y de a poco ir generando una nueva cultura dentro de la sociedad con el fin de disminuir el uso de plásticos convencionales y por ende la contaminación ambiental.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes de la Investigación

Desde mediados del siglo XX, se han producido muchos cambios muy drásticos en la superficie de la tierra. Uno de los más obvios es la presencia y prevalencia de residuos plásticos. Solo en 2015, la producción mundial de plástico fue de 380 millones de toneladas. El problema es que pueden sobrevivir cientos o miles de años. Como resultado, los desechos plásticos ahora se reconocen como una seria amenaza a escala global (Rivera et al., 2020, p.6).

La producción mundial de plástico alcanzó los 380 millones de toneladas en 2015 y se espera que se cuadruplique en 2050. Se producen más de 90% de plástico a partir de plástico virgen, que es una conversión directa de los derivados del petróleo, lo cual significa que para realizar esto se consume más de 6% de hidrocarburos en todo el mundo y se prevé que alcanzarán el 20% en 2050. Durante los próximos 30 años, los plásticos representan el decimoquinto presupuesto de emisiones de carbono necesario para mantener el aumento de temperatura de la Tierra por debajo de 2 ° C. Sin embargo, la comunidad científica, a través del Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC, ha destacado que el aumento de las temperaturas globales no debe superar los 1,5 ° C, es por esto que se debe reducir la utilización de los plásticos convencionales, para poder menorar los gases que producen el efecto invernadero (Rivera et al., 2020, p.7).

Con el paso de los años el planeta ha puesto en evidencia los costos con los que las grandes empresas desarrollan y producen toneladas de materiales desechables y no degradables. Imperial Chemical Industries también conocido por sus siglas ICI, dio a conocer en el año de 1976 lo que sería el primer bioplástico, pero en el año de 1983 se presentó el primer bioplástico totalmente biodegradable y fue "Biopol".

A pesar de que inicialmente los bioplásticos no fueron muy conocidos y casi pasaron desapercibidos a partir de la década de los noventa fueron ganando terreno en el mercado convirtiéndose así en una realidad. Hoy en día se encuentra productos que fueron creados a partir de estas materias primas (ZEAplast, 2012, p.1).

El reciclaje presenta una solución parcial, debido a que esta técnica reside sobre los residuos y no abarca a todos los plásticos. Por el contrario, los polímeros biodegradables actúan desde el origen del problema puesto que la mayoría de estos biomateriales provienen de fuentes renovables. La industria de los plásticos y el sector agrícola tienen interés en los polímeros que se obtienen de fuentes biodegradables o renovables debido a que tienen proyecciones para que sus productos se encuentren en diferentes mercados (Valero et al., 2013, p.171).

Para el gran problema ambiental han surgido varias soluciones y una de ellas es la elaboración de bioplásticos a partir de materias primas biodegradables o renovables. Los bioplásticos son estructuras poliméricas que permiten mantener la integridad física durante su fabricación, su posterior almacenamiento, su duración de conservación y al final de su vida útil son descartados y sufren cambios debido a agentes ambientales y los microorganismos que lo afectan, dichos cambios no dañan, ni contaminan el medio ambiente (Rodríguez, 2012, p.70).

Los bioplásticos se pueden obtener a partir de almidón, el cuál puede ser extraído por dos métodos que son por vía seca y por vía húmeda. El método seco se basa en secar el producto ya sea a temperatura ambiente o utilizando equipos de secado, para después moler y tamizar, mientras que el método húmedo consiste en cortar en trozos pequeños el producto para poder triturarlo con más facilidad adicionando agua, después se deja decantar el líquido y se elimina el sobrenadante, finalmente se obtiene el almidón.

En los últimos años se han realizado estudios similares para la obtención de biopelículas a partir del almidón los cuales se mencionarán a continuación:

- Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, realizado por Abigail de los Ángeles Rosales en el año 2016 en Nicaragua.
- Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo, realizado por Joselyne Brigitte Parra Pérez en el año 2019 en Ecuador.
- Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata, realizado por Mónica Margarita Charro Espinosa en el año 2015 en Ecuador.
- Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca MBRA 383, realizado por Jorge Durán, Mónica Morales, Roland Yusti en el año 2005 en Colombia.
- Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa, realizado por Juan Sebastián Holguín Cardona en el año 2019 en Bogotá.

Las investigaciones presentadas concluyeron que los bioplásticos obtenidos a partir de almidón pueden ser útiles en diferentes aplicaciones debido a que tienen características de calidad y con la creación de los bioplásticos se reducirá en parte la contaminación del medio ambiente.

## 1.2. Marco teórico

### 1.2.1. Maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)

El maracuyá es una planta de origen tropical cuyas principales características de sus frutos es la gran acidez que presenta y un sabor particular intenso. Es fuente de carbohidratos, minerales, proteínas y grasas. Ésta fruta es utilizada fundamentalmente para producir néctares, yogurts, mermeladas, entre otros y se consume como fruta fresca o en jugo (Serna, 2000, p.10).

El pericarpio de maracuyá es grueso y contiene de 300-450 semillas y cada una de estas se encuentra rodeada de un arilo que es una membrana mucilaginosa o pulpa que contiene un jugo aromático ácido de color amarillo claro y también de color naranja intenso (Veliz, 2015, p.91).

#### 1.2.1.1. Taxonomía

En la familia Passifloraceae se encuentran 18 géneros y 700 especies, unos 500 en *Passiflora* y cuatro de estos géneros se presentan en las Américas (Cañizares & Jaramillo, 2015, pp.13-14).

**Tabla 1-1:** Clasificación taxonómica del maracuyá.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Espermatofita
<b>Subdivisión</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Dicotiledónea
<b>Subclase</b>	Arquiclamídea
<b>Orden</b>	Perietales
<b>Suborden</b>	Flacourtiinae
<b>Familia</b>	Passifloraceae
<b>Género</b>	<i>Passiflora</i>
<b>Especie</b>	<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>

**Fuente:** (Cañizares & Jaramillo, 2015, pp.13-14).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 1.2.1.2. Características Morfológicas

De acuerdo con (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009, pp.4-6) las características morfológicas son las siguientes:

- Hojas: son de color verde radiante con peciolo acanalado en su parte superior, dispone de dos nectarios en la base del folíolo, la lámina foliar es palmeada y por lo regular cuenta con tres lóbulos.
- Flores: son axilares, de gran fragancia y muy vistosas. Están proporcionados de 5 pétalos y una corona de filamentos, los cuales son de color púrpura en la base y de color blanco en el ápice, cuenta con 5 estambres y 3 estigmas.



**Figura 1-1:** Flor de maracujá

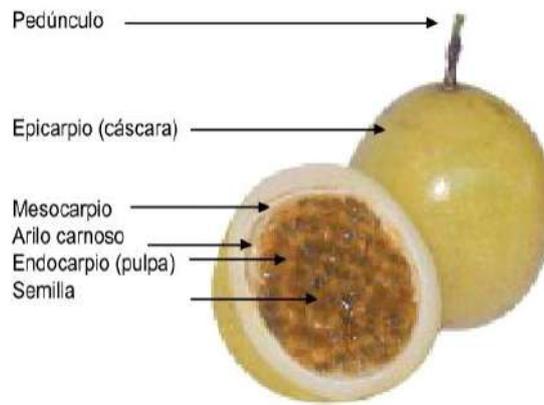
**Fuente:** (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009, pp.4-6).

- Fruto: es una baya ovoide de color característico entre rojo intenso o amarillo cuando se encuentra en estado maduro, sus semillas tienen un arilo carnoso, el cual es aromático, miden de 6 a 12 cm de longitud y de 6 a 7 cm de diámetro. El fruto se compone de 3 partes:

Exocarpio: es la corteza del fruto, la cual es lisa y está recubierta por una cera natural por lo cual tiene un brillo. Su color es variado ya que va desde el verde al amarillo cuando éste es maduro.

Mesocarpio: es la parte porosa, blanda y de color blanco, está formada fundamentalmente por pectina, cuenta aproximadamente con un grosor de 6mm que, al ponerse en contacto con el agua, puede reblandecerse fácilmente.

Endocarpio: es el saco o arilo, conocido comúnmente como envoltura, la cual cubre las semillas que son de color pardo oscuro. Envuelve el jugo de color amarillo opaco (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009, pp.4-6).



**Figura 2-1:** Fruto de maracuyá amarillo

**Fuente:** (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009, pp.4-6).

#### 1.2.1.3. Producción de Maracuyá en el Ecuador

Ecuador cuenta con regiones subtropicales y durante el verano es en dónde se da la producción de maracuyá o parchita como también es denominada, sin embargo, si se da la producción todo el año, entre los meses de abril-septiembre y diciembre-enero son muy productivos debido a que la producción es superior a los otros períodos (Cañizares & Jaramillo, 2015, pp.13-14).

El tiempo recomendado para la recolección de los frutos es cada dos semanas, aunque la periodicidad de recolección del fruto de maracuyá también está relacionada con la cantidad de frutos que se caen de manera habitual de la planta. Para recolectar los frutos se lo realiza de forma manual y en sacos (Cañizares & Jaramillo, 2015, pp.13-14).

El maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), se encuentra cultivado en el litoral ecuatoriano, principalmente en las provincias de Manabí con 4.310 ha en el cantón Sucre, parroquias San Isidro y San Vicente, Esmeraldas con 1247 ha en Quinindé-La Concordia y Los Ríos con 18.553 ha en los cantones Quevedo y Mocache; con una producción de 247.973 toneladas y una productividad de 8,6 t/ha (Haro et al., 2020, p.698).

En la franja costera del país existen sembradas aproximadamente 18.912 hectáreas, su producción se encuentra dirigida en su mayoría a las industrias extractoras de pulpa (Alvarez et al., 2018, p.2).

#### 1.2.1.4. Composición química del maracuyá

La fruta de Maracuyá tiene una composición propia que consta de: cáscara 50-60%, semillas 10-15% y jugo 30-40%, siendo el jugo el producto de mayor relevancia.

En promedio una fruta de Maracuyá posee 2.4 g de hidratos de carbono, un valor energético de 78 calorías, 684 mg de vitamina A, 17 mg de fósforo, 5mg de calcio, 0.1 mg de Riboflavina, 20 mg de vitamina C, 0.3 mg de hierro y 2.24 mg de Niacina (Serna, 2000, p.10).

### 1.2.1.5. Cáscara de maracuyá

Las tres estructuras anatómicas que componen la corteza o cáscara del maracuyá son: la corteza integral o pericarpio, está compuesta principalmente por carbohidratos como minerales y fibra dietaria. El pericarpio comprende tres estructuras, el exocarpio es la parte amarilla externa, mesocarpio o albedo es la parte intermedia y de color blanco y el endocarpio es la parte membranosa interna en la cual se adhieren las semillas (Núñez, 2014, p.17).

La cáscara del maracuyá puede ser utilizada en la alimentación del ganado, debido a que contiene carbohidratos, aminoácidos, proteínas y pectinas, siendo el último elemento mencionado muy usado para otorgar mayor consistencia a las gelatinas y jaleas (Valarezo et al., 2014, p.21).

Actualmente las industrias desechan el 100% de la cáscara de maracuyá siendo este un subproducto muy útil como materia orgánica o como alimento de animales, aproximadamente se emplea 189.586,00 TM/año en el trópico húmedo (Quintero, 2013, p.2).

Los residuos que provienen del procesamiento de la industria del maracuyá pueden ser utilizados como agentes de refuerzo en las biopelículas debido a su alto contenido de fibra, la cual ayuda a reducir la absorción de humedad, mejora la estabilidad térmica y también evita la recristalización del almidón mediante la interacción entre la fibra-almidón (Chariguamán, 2015, p.2).

### 1.2.1.6. Composición Nutricional de la cáscara de maracuyá

El contenido de nutrientes en cáscaras de maracuyá amarilla se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 2-1:** Composición Nutricional de la cáscara de maracuyá.

Parámetros	Cantidades en 100g de cáscara	Unidades
Cenizas	0,57	g
Lípidos	0,01	g
Proteínas	0,67	g
Fibras	4,33	g
Carbohidratos	6,78	g
Calorías	29,91	Kcal
Calcio	44,51	mg
Hierro	0,89	mg
Sodio	43,77	Mg
Zinc	0,32	Mg
Potasio	178,40	Mg

Fuente: (Quintero, 2013, p.5).

Realizado por: Caiza, P. 2021.

### 1.2.2. Plátano verde (*Musa paradisiaca*)

El plátano verde, también nombrado como “Plátano macho o Plátano para cocer” es un fruto que forma parte de la familia de las Musáceas (*Musaceae*), de la especie *Musa paradisiaca*, es menos dulce y más grande comparadas a las pluralidades de su familia. Su forma alargada es levemente arqueada y cada plátano llega a pesar 200 gramos aproximadamente, tiene piel de color verdoso y su pulpa es de color blanco. La pulpa posee una consistencia harinosa y al tener muy pocos azúcares su sabor no es dulce, diferenciándolo de otros plátanos (PRO ECUADOR, 2015, p.5).

El plátano verde contiene complejos hidratos de carbono como el almidón, por lo cual no se recomienda consumirlo en estado crudo. Esta fruta posee varios minerales como magnesio, potasio y pequeñas cantidades de sodio; además aporta porciones importantes de vitamina B pero al momento de su cocción pierde gran parte de vitaminas (PRO ECUADOR, 2015, p.5).



**Figura 3-1:** Plátano verde

Fuente: (PRO ECUADOR, 2015, p.7).

#### 1.2.2.1. Taxonomía

En 1753 fue clasificada por primera vez como *Musa Paradisiaca* por Carlos Linneo.

*Musa paradisiaca* se cultivó a partir de las variedades silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* como cultivares genéticamente puros de estas especies (Mejía, 2018, pp.6-8).

**Tabla 3-1:** Clasificación taxonómica del plátano verde.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Musaceae
<b>Género</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie</b>	<i>Paradisiaca</i>

Fuente: (Mejía, 2018, pp.6-8).

Realizado por: Caiza, P. 2021.

#### 1.2.2.2. Botánica de la planta

De acuerdo con la Guía Técnica Cultivo del Plátano (*Musa paradisiaca*) de (Mejía, 2018, pp.6-8) menciona los siguientes conceptos:

- Planta: tiene una altura de 3 a 6 metros. Es una planta herbácea gigante, el verdadero tallo es un órgano de almacenamiento subterráneo llamado rizoma y el tallo aparente se manifiesta como pseudotallo siendo resultado de la unión de los pecíolos.
- Raíces: se distribuyen superficialmente en capas de 30 a 40 cm, la mayoría de las cuales se concentran a los 15-20 cm. Son blancas, de apariencia suave al brotar y después amarillentas, duras. Pueden alcanzar 3 m de crecimiento lateral y 1,5 m de profundidad.
- Hojas: de gran tamaño y dispuestas en espiral, tienen de largo 2 a 4 metros y de ancho 0,50 metros. Tiene pecíolos de más de 1 m de longitud y bordes ovalados alargados, que se extienden ligeramente hacia los pecíolos, ligeramente ondulados y rayados.
- Tallo: el tallo real es un gran rizoma almidonado cubierto de brotes. Se encuentra cubierto por yemas, las cuales crecen cuando el árbol florece y da frutos.
- Flores: las flores son de color amarillo pálido e irregulares, cuenta con 5 estambres fecundos y 1 estambre estéril.
- Fruto: el fruto es alargado de tres o seis costados que varía en longitud y curvatura según la variedad y se obtiene de un ovario de la flor pistilada. Las pequeñas manchas que se observan al abrir la fruta son los óvulos malogrados, los cuales se vuelven negros (Mejía, 2018, pp.6-8).

#### 1.2.2.3. Producción de plátano verde en Ecuador

En Ecuador se cosecha en gran parte dos variedades de plátanos que son el barraganete y el dominico. En la zona de Los Ríos y el Guayas se localiza la producción de plátano dominico y en

toda la zona de Manabí cantón El Carmen y Santo Domingo se encuentra destinado al cultivo y exportación de plátano barraganete (Arteaga, 2014, p.2).

El mayor productor de plátano verde es el denominado Triángulo Platanero, el cual incluye las provincias de Santo Domingo, Los Ríos y Manabí con 14,249, 13.376 y 52.612 hectáreas, respectivamente. Las principales variedades explotadas en estas provincias son el plátano dominico, el cual está destinado para el consumo interno y el plátano barraganete se encuentra en las cadenas de exportación (Paz & Pesantez, 2013, pp.204-207).

Alrededor de 6 millones de toneladas de plátano verde se cultivan cada año en Ecuador, la mayoría de las cuales se exportan, siendo el principal destino la Unión Europea con un 59%, seguido de Estados Unidos con un 29% y el resto de plátano verde se exporta a muchos más países (Paz & Pesantez, 2013, pp.204-207).

#### *1.2.2.4. Composición química del plátano verde*

La composición química del plátano verde, caracterizada por la presencia de almidón y la falta de ácidos, hace que el plátano sea muy sensible al oxígeno y también al calor (Dávila, 2007, p.8).

En el plátano verde el contenido de almidón varía de 55 a 93%, esto tomado en cuenta del total de los sólidos totales. El contenido de proteína de la pulpa del plátano verde varía de 0,5 a 1,6%, prácticamente sin cambios durante la maduración. Se han identificado alrededor de dieciocho aminoácidos en los plátanos. Entre los cuales están todos los aminoácidos esenciales, sobresaliendo la asparagina, la glutamina, la serina, la histidina, la leucina y la arginina (Dávila, 2007, p.8).

El plátano está denominado como el rey de los vegetales debido a que es un alimento de alto valor nutritivo (Dávila, 2007, p.8).

#### *1.2.2.5. Composición Nutricional del plátano verde*

En la siguiente tabla se detalla el valor nutricional del plátano verde en 100 g de pulpa:

**Tabla 4-1:** Composición nutricional de la pulpa de plátano.

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidades en 100g de pulpa</b>	<b>Unidades</b>
Calorías	80-100	Kcal
Proteínas	1,1	G
Carbohidratos	22	G
Fibras naturales	0,5	G
Grasas	0,2	G

Potasio	370	Mg
Vitamina A	190	Unidades
Vitamina B6	0,6	Mg
Vitamina C	10	Mg
Vitamina E	0,45	Unidades
Calcio	8	Mg
Fósforo	26	Mg
Magnesio	33	Mg
Hierro	0,7	Mg

**Fuente:** (Mejía, 2018, pp.6-8).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 1.2.3. Almidón

El almidón se compone por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa tiene una estructura lineal, mientras que la amilopectina tiene una estructura ramificada. Los almidones más generales contienen aproximadamente 25% de amilosa y 75% de amilopectina. El 75% de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. El 50% de ellos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros basados en petroquímica (Valero et al., 2013, p.80).

La extracción de almidón se puede realizar a nivel manual o industrial y existen diferentes procedimientos para extraer almidón que proviene de plátano, trigo, yuca, maíz y papa. Los dos métodos principales son por vía seca y por vía húmeda. (Carrasco & Molocho, 2018, pp.5-6)

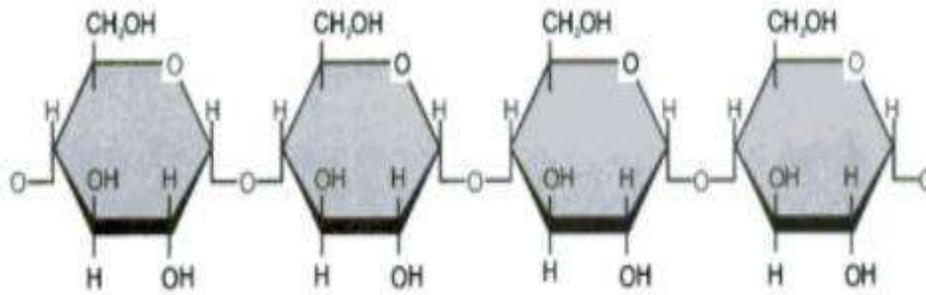
- Método seco: se basa en el secado de la materia prima para proceder a la molienda y obtener de este proceso harina, se realizará un tamizado para finalmente tener el almidón. Para facilitar el desarrollo del método y obtener el producto final de la calidad deseada y propiedades cristalinas, se deben tener en cuenta las operaciones menores realizadas de forma intermedia con los procesos anteriores (Carrasco & Molocho, 2018, pp.5-6).
- Método húmedo: implica moler o reducir el tamaño de la materia prima y eliminar componentes relativamente grandes de la pulpa, como fibra y proteína, en un medio líquido. Después se elimina el agua por decantación y se procede a lavar el material que se encuentra sedimentado para eliminar fracciones diferentes del almidón. Finalmente el almidón limpio para al procesos de secado (Carrasco & Molocho, 2018, pp.5-6).

### 1.2.3.1. Amilosa

Es un polímero de  $\alpha$ -D-glucopiranosas, se trata de un polímero lineal que tiene exclusivamente enlaces  $\alpha(1\rightarrow4)$  entre los residuos de glucosa adyacentes. La estructura primaria simple y regular de la amilosa permite la estructura secundaria regular de esta molécula. En la amilosa, las unidades de D-glucosa se encuentran unidas de forma lineal, no ramificada, mediante enlaces  $\alpha(1\rightarrow4)$ , tiene un extremo no reductor y uno reductor. Su peso molecular varía de algunos miles hasta 500,000 D (Melo & Cuamatzi, 2019, pp.65-68).

La utilización de almidón en la producción de bioplásticos se fundamenta básicamente en las propiedades químicas, físicas y funcionales que posee la amilosa para la formación de gel y su facultad para formar películas.

La afinidad del polímero por el agua se reduce debido a que las moléculas de amilosa conforman enlaces de hidrógeno en medio de los grupos hidroxilo de polímeros contiguos; lo cual facilita la formación de pastas translúcidas y películas resistentes (Chariguamán, 2015, p.1).



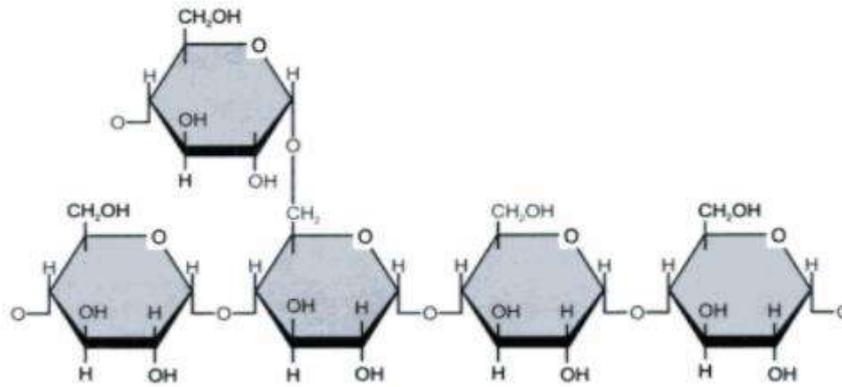
**Figura 4-1:** Estructura de la amilosa

Fuente:(Melo & Cuamatzi, 2019, pp.65-68).

### 1.2.3.2. Amilopectina

La amilopectina es un polisacárido ramificado y estas ramificaciones se encuentran en unidades de maltosa (glucosa-glucosa con puentes en  $\alpha(1\rightarrow4)$ ), conectadas por puentes isomaltosa. Esta molécula tiene una cadena de glucosa corta con 30 unidades aproximadamente, que está unida por un enlace  $\alpha(1\rightarrow4)$  y también por un enlace  $\alpha(1\rightarrow6)$  (Melo & Cuamatzi, 2019, pp.65-68).

La molécula de amilopectina es significativamente mayor que la molécula de amilosa. La amilopectina es un componente importante para que la mayor parte de almidones puedan tener cristalinidad debido a que el almidón natural tiene como una de sus propiedades la semicristalización (Ruiz, 2005, p.12).



**Figura 5-1:** Estructura de la amilopectina

Fuente:(Melo & Cuamatzi, 2019, pp.65-68).

#### **1.2.4. Bioplástico**

Los bioplásticos BLP son plásticos biodegradables certificados derivados de materia orgánica renovable. Forman parte de un subgrupo dentro de "Plásticos Biodegradables" (EDP), que al igual que los plásticos BLP, se degradan por la presencia de microorganismos, pero pueden derivarse de fuentes no renovables como recursos fósiles (ECOEMBES, 2009, p.7).

European bioplastics es una organización, la cual define a los bioplásticos como plásticos que son biodegradables o bioplásticos de origen biológico, los cuales cumplen con ambas características (Vázquez et al., 2018, p.2).

De acuerdo a la International Standard Organization ISO, los bioplásticos se definen como plásticos que gracias a la acción de microorganismos pueden degradarse. Los bioplásticos son estructuras poliméricas que ayudan a conservar la integridad física, durante su elaboración, su almacenamiento, su mantenimiento y al final de su vida útil son eliminados y presentan variaciones químicas por la presencia de microorganismos y agentes ambientales que los afectan. Se transforman en componentes menores o en sustancias simples que eventualmente son absorbidos por el medio ambiente (Rodríguez, 2012, p.70).

#### **1.2.5. Clasificación de los bioplásticos**

Los bioplásticos en función de su origen o procedencia se clasifican en los siguientes grupos:

##### **1.2.5.1. Bioplásticos procedentes de recursos renovables**

Esta sección incluye polímeros derivados de biomasa como almidón y celulosa. Los monómeros de estos polímeros se producen mediante la fermentación de recursos renovables, pero después se da la polimerización siguiendo métodos químicos tradicionales (Pérez et al., 2007, p.15).

### 1.2.5.2. Polímeros biodegradables procedentes de la industria petroquímica

Por su estructura, son compostables y biodegradables según las normas de compostaje ASTM D6400 y EN13432. Dentro de este grupo se encuentran los poliéster alifáticos y los alifáticos-aromáticos (Pérez et al., 2007, p.15).

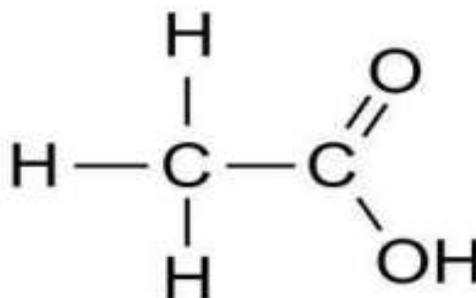
### 1.2.5.3. Bioplásticos sintetizados por vía tecnológica

Para la producción de bioplásticos existen dos vías biotecnológicas. La primera implica la adquisición biotecnológica de monómeros, seguida de la polimerización química (ácido poliláctico PLA). La segunda vía es la síntesis integrada de bioplásticos, principalmente mediante procesos biotecnológicos mediante fermentación microbiana, pero se prevén otras tecnologías basadas en el uso de plantas modificadas genéticamente, como los polihidroxialcanoatos (PHA) (Pérez et al., 2007, p.15).

### 1.2.6. Aditivos de películas biodegradables

#### 1.2.6.1. Ácido acético

El ácido acético  $C_2H_4O_2$  es un líquido incoloro con un olor único (vinagre). Utilizado en la fabricación, teñido e impresión de aditivos alimentarios y para piensos, conservantes de encurtidos, coagulantes de látex natural, productos farmacéuticos, plásticos y tintes (DLEP Documentación Límites Exposición Profesional, 2018, pp.1-3).



**Figura 8-1:** Fórmula estructural del ácido acético.

**Fuente:** (DLEP Documentación Límites Exposición Profesional, 2018, pp.1-3).

Actúa como conservante natural y presenta una gran demanda debido a que inhibe el crecimiento microbiano manteniendo la calidad óptima de los productos (Hidalgo & Olmedo, 2017, p.12).

Se recomienda el ácido acético como modificador químico porque tiene la propiedad de reducir

la capacidad hidrofílica del almidón y hacer que el material sea hidrófobo. La introducción de grupos éster en los polisacáridos constituye una etapa de desarrollo importante porque puede alterar la naturaleza hidrofílica y conducir a modificaciones notables de las propiedades térmicas y mecánicas (Rosales, 2016, p.25).

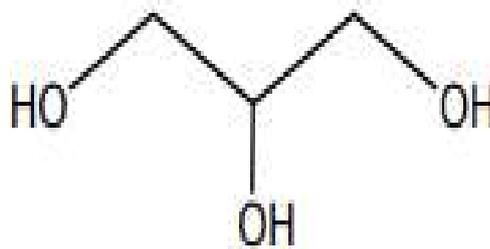
### 1.2.7. *Plastificantes*

Los plastificantes han sido utilizados durante muchos años para hacer que varios materiales sean flexibles y maleables. Debido a que los plastificantes representan una variedad de sustancias químicas tienen muchas aplicaciones seguras, sostenibles y de alto rendimiento. Son líquidos orgánicos incoloros e inodoros que no pueden tratarse simplemente como aditivos de rellenos o colorantes (European Plasticisers, 2018, p.1).

La mayoría de los plastificantes utilizados en las películas de almidón son hidrófilos e imparten propiedades elásticas al producto final, lo que permite la maleabilidad del mismo y mejora o aumenta la permeabilidad al vapor de agua y también la higroscopicidad de la película laminada (Chariguamán, 2015, p.1).

#### 1.2.7.1. *Glicerol (Glicerina)*

El glicerol ( $C_3H_8O_3$ ), también denominado como 1,2,3-propanotriol o 1,2,3-trihidroxipropano, es un alcohol que contiene tres grupos hidroxilos -OH y comúnmente se le conoce como glicerina (Lafuente, 2017, pp.6-7).



**Figura 6-1:** Fórmula estructural del glicerol

**Fuente:** (Lafuente, 2017, pp.6-7).

Es un compuesto líquido cuando se encuentra a temperatura ambiente, inodoro, incoloro, viscoso y ligeramente dulce. Por la presencia de sus tres grupos hidroxilo es higroscópico, muy soluble en agua y alcohol, escasamente soluble en disolventes orgánicos como dioxanos y éteres e insoluble en los hidrocarburos (Lafuente, 2017, pp.6-7).

Los plastificantes como el glicerol aumentan el espacio intermolecular al reducir los enlaces de hidrógeno internos al tiempo que evitan el agrietamiento de los bioplásticos durante la manipulación y el almacenamiento (Chariguamán, 2015, p.1).

El glicerol es un plastificante soluble en agua y muy útil agente suavizante para los almidones, gracias a esto mejora la flexibilidad de las películas obtenidas (Enríquez et al., 2012, p.186).

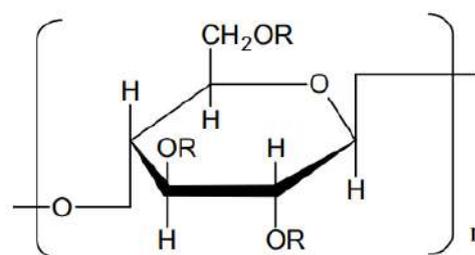
#### 1.2.7.2. Carboximetilcelulosa CMC

La carboximetilcelulosa CMC es el éter derivado de la celulosa más importante y sus propiedades lo hacen adecuado para muchas aplicaciones industriales. Higroscopicidad, inocuidad, alta viscosidad en soluciones diluidas, excelentes propiedades para la formación de películas, y excelente desempeño como adhesivo protector determinan el uso de CMC (Barba, 2002, pp.41-44).

La carboximetilcelulosa constituye un producto cuya utilización no afecta la eco-capacidad del entorno ambiental debido a que procede de productos naturales vegetales que cuando son cuidados se regeneran naturalmente en períodos de corto tiempo. Además, es biodegradable, ya que se puede descomponer al aire libre y después de cierto tiempo la carboximetilcelulosa formará humus. (Barba, 2002, pp.41-44).

La adición de algunos estabilizadores, como la carboximetilcelulosa CMC, reduce la permeabilidad al vapor de agua, reduce la solubilidad y mejora la resistencia a la tracción de la película resultante (Enríquez et al., 2012, p.185).

El aumento de la concentración del plastificante mejorará las propiedades mecánicas y la solubilidad en agua de la biopelícula. Asimismo, las propiedades mecánicas como la elongación a la rotura, la resistencia a la tracción y la permeabilidad al vapor de agua dependen en gran medida de la concentración de plastificante utilizado en la producción de biopelículas. De hecho, el aumento de la concentración de CMC reduce el alargamiento a la rotura y disminuye la permeabilidad y presenta mayor resistencia a la tracción. Esto se debe al aumento de las interacciones moleculares desarrollando una fuerza cohesiva en las biopelículas (Aguilar et al., 2012, p.6).



donde R = H o CH<sub>2</sub>COONa

**Figura 7-1:** Estructura química de carboximetilcelulosa

Fuente: (Castellucci, 2009, p.2).

### ***1.2.8. Biodegradabilidad***

La norma ASTM D 5488-944 determina a la biodegradabilidad como la capacidad del dióxido de carbono, el metano, el agua y los materiales para descomponerse en materia orgánica o biomasa. El mecanismo principal es la acción enzimática de los microorganismos. En general, los polímeros son biodegradables si su degradación se debe a la actividad natural de microorganismos como hongos, bacterias y algas (Meneses et al., 2007, p.61).

Existen distintos factores necesarios para que se produzca la biodegradación, la presencia de microorganismos, la presencia de aire (si es necesario), la humedad y los minerales, valor de pH idóneo de 5 a 8 y la temperatura conveniente para la especie microbiana de 20 °C a 60 °C (Meneses et al., 2007, p.61).

### ***1.2.9. Aplicación en el embalaje de alimentos***

Los materiales biodegradables se utilizan en diferentes productos de diferentes maneras. El mercado más popular de bioplásticos es el de los envases. En las aplicaciones se incluyen bolsas que servirán para llevar las compras y para recolección de residuos compostables, bandejas y también envases de alimentos que provienen de biomasa (Rodríguez, 2012, p.70).

Los bioplásticos basados en almidón se utilizan para producir bolsas para envolver frutas y verduras. Su alta permeabilidad al vapor de agua de la película de mezcla de almidón permite mantener las verduras frescas por mucho más tiempo. Una vez que la comida ha caducado, se puede compostar conjuntamente con su propio embalaje sin necesidad de estar separando (Pérez et al., 2007, p.85).

Gracias a su grado de biodegradabilidad, una gran parte de la productividad de bioplásticos se reserva para el envasado y el embalaje de alimentos. Además, se utiliza en otros sectores como en la construcción, la agricultura, en dispositivos médicos, sistemas de administración de fármacos, implantes médicos o hilos para suturas y productos electrónicos (Rodríguez 2012, p.70).

### ***1.2.10. Plásticos convencionales***

Los plásticos convencionales son producidos a partir de reservas fósiles como el petróleo. Estos polímeros persisten en la naturaleza durante largos períodos de tiempo y, por lo tanto, se acumulan generando grandes cantidades de desechos sólidos (López, 2021, p.17).

Debido a su naturaleza inerte, los plásticos convencionales no son atacados por varios microorganismos que se encuentran en el ecosistema, debido a que los plásticos derivados del petróleo son de uso masivo y no son biodegradables o amigables con el ambiente, siendo un

problemático residuo por su largo tiempo de descomposición resultando en su acumulación en calles, carreteras, bosques, desiertos, ríos, alcantarillas, playas entre otros (Barrera et al., 2021, p.29). La capacidad para tratar residuos plásticos ya se encuentra sobrepasada debido a que, de los 9 000 millones de toneladas producidas en todo el mundo, solo se ha reciclado el 9%; la mayoría han terminado en basureros, vertederos y en el medio ambiente contaminándolo. Si los patrones de consumo continúan para 2050, en el mundo habrá aproximadamente 12 000 millones de toneladas de residuos plásticos en espacios naturales y vertederos. Si el aumento en la producción de plásticos convencionales mantiene su tasa actual, la industria de este polímero utilizará la producción mundial del petróleo en un 20% (Ballesteros, 2014, p.4).

### ***1.2.11. Bioplásticos vs plásticos tradicionales***

Las empresas en busca de un mundo más sostenible, cada vez más están reemplazando los plásticos tradicionales a base de petróleo por plásticos de origen biológico. Esta tendencia se debe al hecho de que las empresas están descubriendo ciertos beneficios que se adquiere al realizar dicho reemplazo (ZEAplast, 2012, p.3).

- Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles

En la actualidad, aproximadamente una cuarta parte de la producción mundial de petróleo se utiliza para fabricar plásticos. Su volumen se concentra en la producción de bolsas, contenedores, electrodomésticos y autopartes al por menor. La producción de plástico a partir de recursos renovables puede reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles (ZEAplast, 2012, p.3).

- Reducción de la huella de carbono

Los consumidores son cada vez más conscientes del impacto medioambiental del uso de plásticos tradicionales, por lo cual día tras día se debe incentivar a cambiar los plásticos por bioplásticos, de esta manera cuidamos el medio ambiente y nos cuidamos a nosotros mismo.

Etiquetar productos con esta declaración de reducción de carbono puede tener un efecto positivo en la venta y comercialización del mismo (ZEAplast, 2012, p.3).

- Múltiples opciones al final de su vida útil

El problema de los residuos plásticos tradicionales es un problema cada vez más angustiante. La mayoría de los productos plásticos no reciclables terminan en vertederos, por el impacto del viento hace que otros productos plásticos terminen en vertederos no convencionales conocidos como la sopa de basura en el Pacífico. Los bioplásticos están disponibles en una variedad de opciones que se utilizan para garantizar la seguridad y eficiencia de la reutilización o recuperación (ZEAplast, 2012, p.3).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Objetivos

##### 2.1.1. General

- Obtener una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*musa paradisiaca*) para el recubrimiento de alimentos.

##### 2.1.2. Específicos

- Extraer almidón a partir del pericarpio de maracuyá y plátano verde para su tratamiento en la obtención de la biopelícula.
- Caracterizar los almidones de pericarpio de maracuyá y plátano verde para conocer la calidad de almidón utilizable para la obtención de la biopelícula.
- Formular la biopelícula a partir de almidones de pericarpio de maracuyá y plátano verde conjuntamente con plastificantes y aditivos.
- Demostrar el uso de la biopelícula en el recubrimiento de alimentos versus alimentos sin recubrir.

#### 2.2. Hipótesis y especificación de variables

##### 2.2.1. Hipótesis General

Las biopelículas obtenidas a partir del almidón del pericarpio de maracuyá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*musa paradisiaca*) pueden utilizarse en el recubrimiento de alimentos y de esta manera contribuir a la reducción de contaminación al medio ambiente.

##### 2.2.2. Hipótesis Específicas

**H1:** Es posible extraer almidón a partir del pericarpio de maracuyá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) mediante el proceso de extracción por vía seca y extraer el almidón de plátano verde (*musa paradisiaca*) utilizando el método de extracción por vía húmeda.

**H2:** El contenido de amilosa de los almidones obtenidos influirá en la formación de las biopelículas.

**H3:** El porcentaje de los plastificantes implementados determinarán las propiedades de las biopelículas obtenidas.

**H4:** La biopelícula obtenida podrá conservar las características organolépticas de los alimentos recubiertos.

### 2.2.3. *Identificación de Variables*

**Tabla 1-2:** Identificación de las variables de extracción de almidón.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>
Obtención del almidón	Revoluciones por minuto
	Tiempo de trituración

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 2-2:** Identificación de las variables de obtención de las biopelículas.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>
Formulación de biopelícula	Porcentaje de almidón
	Porcentaje de plastificante

Realizado por: Caiza, P. 2021.

#### 2.2.4. Operacionalización de Variables

**Tabla 3-2:** Operacionalización de variables que intervienen en el proceso de extracción de almidón.

<b>Variabes</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Categorización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos de medición / Técnica o Método</b>
Obtención del almidón	Dependiente	Proceso mediante el cual se obtendrá los almidones de pericarpio del maracuyá y plátano verde.	Pruebas en el laboratorio	Porcentaje (%) de amilosa y amilopectina	Análisis proximal
Tiempo de trituración	Independiente	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento.	Tiempo de licuado de la materia prima para obtener el almidón.	Segundos (s)	Cronómetro
Revoluciones por minuto	Independiente	Magnitud física que mide el número de giros por unidad de tiempo.	Trituración del pericarpio de maracuyá y plátano verde.	Velocidad alta y baja (rpm)	Licuadora

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 4-2:** Operacionalización de variables que intervienen en el proceso obtención de biopelícula.

<b>Variabes</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Categorización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos de medición / Técnica o Método</b>
Formulación de biopelícula	Dependiente	Elaboración de un producto mediante la combinación de diversas materias primas de origen sintético o natural.	Porcentajes de formulación	Unidades de las pruebas físico-mecánicas y microbiológicas	Pruebas físico-mecánicas y microbiológicas
Porcentaje de almidón	Independiente	Es una porción significativa del material a utilizar, representa la magnitud de una propiedad medible.	Medida de glicerina para realizar la formulación.	Peso (g)	Balanza
Porcentaje de plastificante	Independiente	Cantidad de glicerina utilizada para formar la biopelícula.	Medida de glicerina para realizar la formulación.	Volumen (ml)	Probeta

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.2.5. Matriz de Consistencia

**Tabla 5-2:** Matriz de Consistencia.

ASPECTOS GENERALES				
Planteamiento del Problema		Objetivo	Hipótesis	
Las enormes cantidades de desechos plásticos que a diario la sociedad arroja se han convertido en la principal causa de contaminación por lo cual se quiere obtener biopelículas las cuales son de origen orgánico, su tiempo de degradación es menor y no afectan al medio ambiente.		Obtener una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá ( <i>passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) y plátano verde ( <i>musa paradisiaca</i> ) para el recubrimiento de alimentos.	Las biopelículas obtenidas a partir del almidón del pericarpio de maracuyá ( <i>passiflora edulis</i> ) y plátano verde ( <i>musa paradisiaca</i> ) pueden utilizarse en el recubrimiento de alimentos y de esta manera contribuir a la reducción de contaminación al medio ambiente.	
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Técnicas
¿Se obtiene almidón del pericarpio del maracuyá a través del método de extracción por vía húmeda?	Extraer el almidón a partir del pericarpio de maracuyá y plátano verde para su tratamiento en la obtención de la biopelícula.	<b>H1:</b> Es posible extraer almidón a partir del pericarpio de maracuyá ( <i>passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) mediante el proceso de extracción por vía seca y extraer el almidón de plátano verde ( <i>musa paradisiaca</i> )	<p><b>Variables Dependientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de almidón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción de almidón por el método seco y método húmedo.</li> </ul>

		utilizando el método de extracción por vía húmeda.	- Formulación de biopelícula.	- Caracterización del almidón. - Formulación de la biopelícula.
El almidón extraído de qué manera será caracterizado.	Caracterizar el pericarpio de almidón y plátano verde para conocer la cantidad de almidón utilizable para la obtención de la biopelícula.	<b>H2:</b> El contenido de amilosa de los almidones obtenidos influirá en la formación de las biopelículas.	<b>Variables Independientes</b> - Tiempo de trituración. - Revoluciones por minuto. - Porcentaje del almidón. - Porcentaje del plastificante.	
¿Cómo realizar formulaciones adecuadas para la obtención de la biopelícula?	Formular la biopelícula a partir de almidones de pericarpio de maracuyá y plátano verde conjuntamente con plastificantes y aditivos.	<b>H3:</b> El porcentaje de los plastificantes implementados determinarán las propiedades de las biopelículas obtenidas.		
¿Las biopelículas obtenidas poseen propiedades de calidad para usarlas?	Demostrar el uso de la biopelícula en el recubrimiento de alimentos versus alimentos sin recubrir.	<b>H4:</b> La biopelícula obtenida podrá conservar las características organolépticas de los alimentos recubiertos.		

Realizado por: Caiza, P. 2021.

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

### **2.3.1. Tipo de investigación**

#### *2.3.1.1. Según el método de investigación*

La presente investigación es de tipo exploratoria con el fin de conocer la composición adecuada para obtener biopelículas a partir del almidón del pericarpio de maracuyá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*musa paradisiaca*).

#### *2.3.1.2. Según el objeto de investigación*

La investigación es teórica debido a que se reúne datos teóricos para crear conceptos relacionados con el almidón extraído y su uso en la formulación de biopelículas.

#### *2.3.1.3. Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio*

Es una investigación descriptiva porque describe las características físico-mecánicas y microbiológicas que posee el almidón con el fin de comprender su funcionalidad en la elaboración de biopelículas.

#### *2.3.1.4. Según la manipulación de variables*

Es una investigación experimental porque el almidón extraído a partir del pericarpio de maracuyá y plátano verde primero será caracterizado y después se realizará las formulaciones para obtener el bioplástico.

#### *2.3.1.5. Según el tipo de inferencia*

Es una investigación inductiva porque se genera a partir de lo particular realizando varias formulaciones para llegar a la formulación general con la cual se obtendrá la biopelícula adecuada.

#### *2.3.1.6. Según el período temporal*

Es una investigación transversal debido a que el presente estudio se realizará en un tiempo determinado donde se obtendrá como resultado la biopelícula.

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

#### 2.3.2.1. *Diseño experimental factorial 2<sup>k</sup>*

El objetivo del diseño factorial es estudiar el efecto de múltiples factores en una o más respuestas cuando todos los factores proporcionan el mismo beneficio. Los factores pueden ser cualitativos como tipos de material, máquinas, operador, presencia o ausencia de operaciones preliminares o factores cuantitativos como humedad, temperatura, presión, velocidad (Gutiérrez & De la Vara, 2008, p.128).

Una matriz de diseño o arreglo factorial es un conjunto de puntos experimentales o de procesamiento que se pueden formar considerando todas las combinaciones posibles de niveles de factores. Como ejemplo, con  $k$  siendo igual a 2 factores, ambos con dos niveles, se forma un diseño factorial  $2 \times 2 = 2^2$ , el cual consiste en cuatro combinaciones (Gutiérrez & De la Vara, 2008, p.128).

#### 2.3.2.2. *Diseño factorial 2k para la obtención de almidón de plátano verde*

Al aplicar el diseño factorial para obtener el almidón de plátano verde se tomó en cuenta dos variables que son el tiempo (t) en 45 s y 60 s y las revoluciones por minuto (RPM) en velocidad alta y baja. Se obtuvieron 16 tratamientos en total al realizar 4 tratamientos con 4 repeticiones de cada uno. Con los resultados obtenidos se determinó el rendimiento del almidón.

**Tabla 6-2:** Variables y tratamientos para la extracción del almidón de plátano verde aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup>.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>			<b>Tratamientos</b>	
Extracción de almidón	Tiempo de triturado (s)	45	60	T1	45 s; alta
				T2	60 s; alta
	RPM	Baja	Alta	T3	45 s, baja
				T4	60 s, baja

Realizado por: Caiza, P. 2021.

#### 2.3.2.3. *Diseño factorial 2k para la extracción de almidón de pericarpio de maracuyá*

Para obtener el almidón de pericarpio de maracuyá aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup> se tomó en cuenta dos variables que son el tiempo de secado de 12 a 24 horas y la temperatura de secado de 50 a 60 °C. Se realizaron 4 tratamientos con 4 repeticiones de cada uno.

**Tabla 7-2:** Variables y tratamientos para la extracción del almidón de pericarpio de maracuyá aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup>.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>			<b>Tratamientos</b>	
Extracción de almidón	Temperatura de secado (°C)	50	60	T1	60 °C; 12 h
				T2	60 °C; 24 h
	Tiempo de secado (h)	12	24	T3	50 °C; 12 h
				T4	50 °C; 24 h

Realizado por: Caiza, P. 2021.

#### 2.3.2.4. Diseño factorial 2k para la formulación de la biopelícula a partir de almidones de plátano verde y pericarpio de maracuyá

Para obtener las biopelículas aplicando el diseño factorial 2k se trabaja con dos variables que son el porcentaje de concentración de almidón de pericarpio de maracuyá (1-2 g) y el porcentaje de plastificante (carboximetilcelulosa 1-15 ml). De esta manera se obtendrá 16 biopelículas debido a que los 4 tratamientos tendrán 4 repeticiones hasta obtener una biopelícula de calidad.

**Tabla 8-2:** Variables y tratamientos para la formulación de biopelículas aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup>.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>			<b>Tratamientos</b>	
Formulación de la biopelícula	Plastificante (ml)	1	1,5	TP1	(1 g – 1,5 ml)
				TP2	(1 g – 1 ml)
	Almidón de pericarpio de maracuyá (g)	1	2	TP3	(2 g – 1,5 ml)
				TP4	(2 g – 1 ml)

Realizado por: Caiza, P. 2021.

#### 2.3.3. Descripción de los equipos, materiales, reactivos y materia prima

El presente trabajo de titulación se realizó utilizando varios equipos, materiales y reactivos que se encuentran en los distintos laboratorios pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. La materia prima proviene del mercado Mayorista ubicado en la ciudad de Riobamba.

### 2.3.3.1. Equipos

- Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001mHg.
- Estufa, marca ESCO, modelo Isotherm OFA-54-8, Máx. Temperatura. 300 °C / 572 °F, volumen 115 L, serial 2015-T01866.
- Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temperatura 1200 °C (2192 °F), Serie: 0146448301170117.
- Viscosímetro PCE-RVI 10, rango de medición de 1 a 2.000.000 mPa·s, tiene una precisión de  $\pm 1,0\%$ . Precisión:  $\pm 1,0\%$  del fondo escala ajustado.
- pHmetro Orion Star-A1215, los Medidores de Banco de pH Thermo Scientific Orion Star A111 combinan precisión y sencillez para utilizarlo en aplicaciones determinadas de pH, con un rango de: -2.00 a 16.00.

### 2.3.3.2. Materiales:

- Crisoles, cápsulas y varilla de agitación
- Probetas, pipetas
- Reverbero, malla
- Vasos de precipitación, cajas petri
- Papel aluminio, bandejas y fundas ziploc
- Tamices 300, 180, 150, 106  $\mu\text{m}$

### 2.3.3.3. Reactivos:

- Agua destilada

### 2.3.3.4. Materia prima:

- Plátano verde y almidón de plátano verde
- Maracuyá y almidón de pericarpio de maracuyá

## 2.4. Unidad de Análisis

La unidad de análisis de la presente investigación es el almidón obtenido a partir del pericarpio del maracuyá (*passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*musa paradisiaca*) para la formulación de biopelículas, la cual será caracterizada de manera físico mecánica y

microbiológica. Se realizará pruebas de contenido de humedad y cenizas, solubilidad, densidad, fibra, proteína, pH y temperatura de gelatinización. Después se realizará la obtención de biopelículas con los tratamientos adecuados, posterior a ello se procede a su caracterización mediante pruebas de tracción, solubilidad, permeabilidad al vapor, humedad y biodegradabilidad para poder validar la biopelícula obtenida.

## **2.5. Población de Estudio**

La población del presente estudio fue escogida al azar y corresponde a los muestreos del pericarpio del maracuyá y plátano verde, la cual proviene del mercado Mayorista de la Ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo. Beneficiando de manera directa al estudio del GRUPO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO (GIADE) de la ESPOCH, en el proyecto de Obtención de bioplásticos a partir de productos agrícolas del país.

## **2.6. Tamaño de Muestra**

Se realizará con 8 kg-10 kg del pericarpio del maracuyá y el plátano verde para extraer varias cantidades de almidón y realizar las diferentes experimentaciones.

## **2.7. Selección de muestra**

La selección de muestra del maracuyá y plátano verde se realizará en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba y las principales características que deben tener para ser seleccionadas son madurez, libre de golpes y manchas.

## **2.8. Técnicas de Recolección de Datos**

### ***2.8.1. Técnica de extracción de almidón del pericarpio de maracuyá mediante el método seco.***

Para la extracción del almidón del pericarpio de maracuyá se siguió el diagrama de flujo establecido por (Alves, 2013).

Selección: seleccionamos la materia prima que en este caso es el maracuyá verificando que se encuentre en óptimas condiciones.

Lavado: se realiza el lavado del maracuyá escogido para eliminar las impurezas.

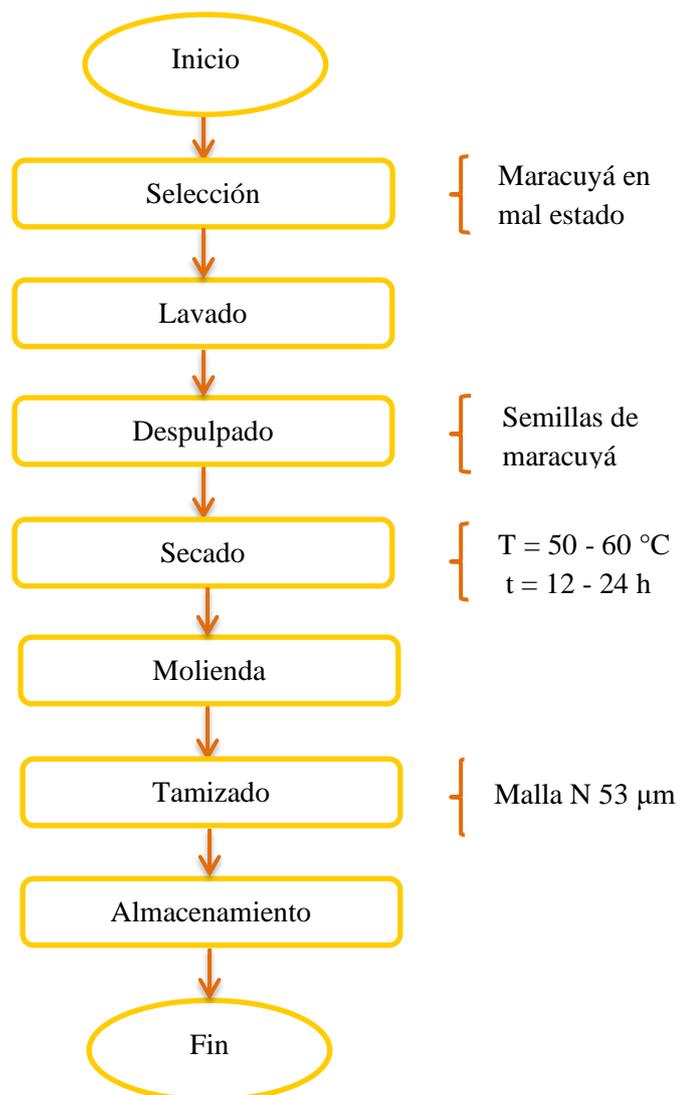
Despulpado: se corta el maracuyá para despulparlo debido a que solo se necesita la cáscara en trozos pequeños.

Secado: se coloca en un secador de bandejas tipo armario los trozos pequeños del maracuyá a diferentes temperaturas, 50 °C de 12 a 24 horas y posteriormente a 60 °C de 12 a 24 horas para obtener el mejor rendimiento.

Molienda: se realiza la molienda varias veces utilizando un molino de tornillo sin fin hasta obtener harina de maracuyá.

Tamizado: se tamiza la harina de maracuyá utilizando diferentes tamices empezando por 300, 180, 106 y 53  $\mu\text{m}$  para obtener almidón.

Almacenamiento: se almacena el almidón obtenido en fundas herméticas etiquetadas respectivamente para cada uno de los tratamientos.



**Gráfico 1-2:** Diagrama de flujo para la extracción de almidón del pericarpio de maracuyá.

Fuente: (Alves, 2013).



**Figura 2-1:** Secado de materia prima

Realizado por: Caiza, P. 2021.

### ***2.8.2. Técnica de extracción de almidón de plátano verde mediante el método húmedo.***

En la figura 2-2 se indica el diagrama de flujo para la extracción del almidón de plátano verde mediante el método húmedo descrito por (Dávila, 2014, p.25).

Selección de la materia prima: se seleccionó la materia prima y se verificó que la materia prima se encuentre en buenas condiciones sin golpes, ni manchas.

Lavado: se realizó el lavado de la materia prima con agua potable y de esta manera retirar varias impurezas.

Pelado: se procedió a pelar el plátano verde para extraer la pulpa y se realizó una reducción de tamaño de 4-6 mm de espesor.

Licuada: se realiza el licuado del plátano verde con agua después de la reducción de tamaño para evitar daños en el equipo en este caso una licuadora Oster. El procedimiento del licuado se realiza a diferentes velocidades a 45 s, 60 s y por cada velocidad se repite 4 veces el licuado.

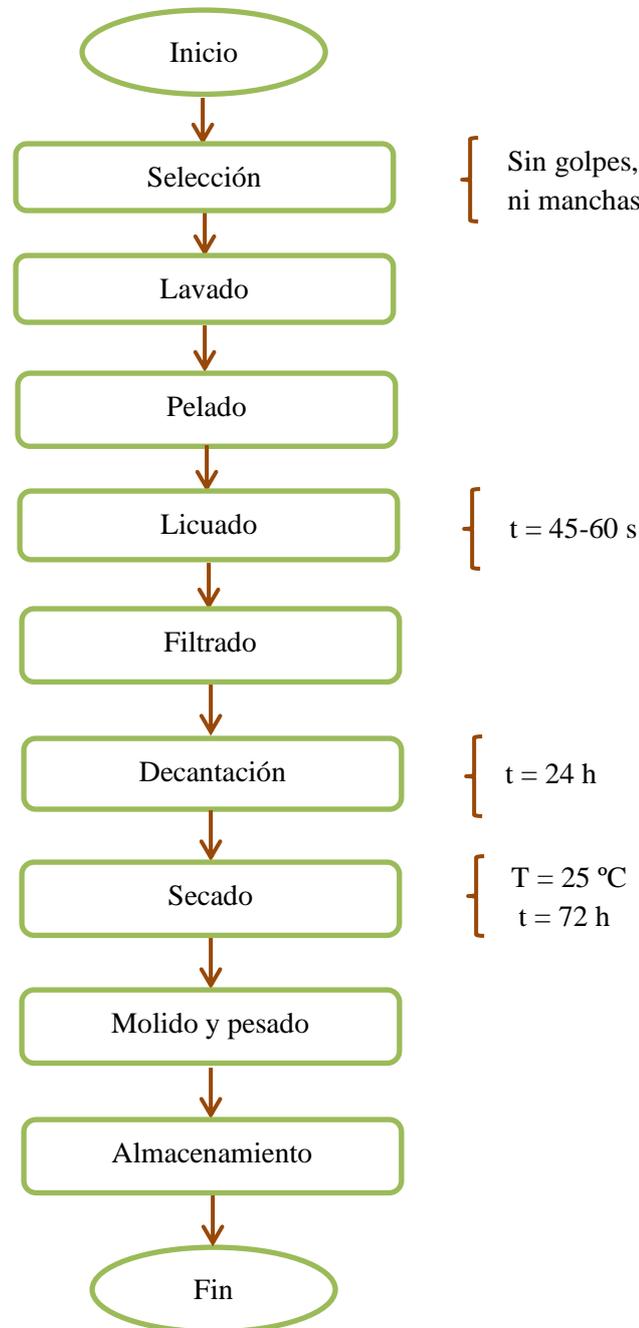
Filtración: se realizó la filtración con ayuda de un cedazo o media nylon por los cuales solo pasaba la parte líquida del licuado.

Decantación: se realiza el proceso de decantación para eliminar el sobrenadante dejando reposar por 24 horas y de esta manera obtener el almidón que se encuentra en el fondo del recipiente.

Secado: lo que se encontró en la parte final del recipiente se llevó a un proceso de secado a 25°C por 72 horas.

Molienda y pesado: al obtener el almidón seco se debe moler o triturar utilizando un mortero para reducir el tamaño y tener almidón fino, después se debe pesar y etiquetar de acuerdo a las repeticiones realizadas.

Almacenamiento: finalmente se almacena el almidón extraído en fundas herméticas.



**Gráfico 2-2:** Diagrama de flujo para la extracción de almidón a partir de plátano verde.

**Fuente:** (Dávila, 2014, p.25).



**Figura 2-2:** Licuado de materia prima  
 Realizado por: Caiza, P. 2021.

### 2.8.3. Técnica de caracterización del almidón

#### 2.8.3.1. Prueba de Índice de Solubilidad

**Tabla 9-2:** Método para medición de Índice de Solubilidad.

Materiales y Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Reverbero y malla de asbesto</li> <li>- 2 vasos de precipitación</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Vidrio reloj</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Tubo de ensayo</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Cronometro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Añadir en tubos de plástico 1,25 gramos en cada tubo.</li> <li>- Adicionar 30 mL en cada tubo.</li> <li>- Prender el baño maría y programar hasta llegar a 60°C.</li> <li>- Ubicar los tubos con el agua y el almidón en el baño maría por 10 minutos.</li> <li>- Agitar levemente y regresar los tubos al baño maría por 20 minutos más.</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrifugar por un tiempo estimado de 20 minutos a una velocidad de 3000 RPM.</li> <li>- Sacar de la centrifuga y tomar 10 mL del líquido.</li> <li>- Añadir 10 mL en un vaso de precipitación.</li> <li>- Poner en la estufa por un tiempo de 24 horas.</li> <li>- Sacar las muestras y poner en el desecador por 30 min.</li> <li>- Tomar el peso de las muestras.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>
$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g)} bs}$

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.73).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.3.2. Prueba de pH

**Tabla 10-2:** Método para medición de pH.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidrio reloj</li> <li>- Tubo de ensayo</li> <li>- pHmetro</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar en un vidrio reloj 5 gramos de almidón.</li> <li>- Colocar 25 ml de agua destilada en un tubo de ensayo.</li> <li>- Verter los 5 gramos de almidón en el tubo de ensayo.</li> <li>- Verificar el pH de la solución con la ayuda del pHmetro.</li> </ul>	

**Fuente:**(Aristizábal & Sánchez, 2007, p.89).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.3.3. Prueba de Temperatura de Gelatinización

**Tabla 11-2:** Método para medición de temperatura de gelatinización.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Vaso de precipitación</li> <li>- Probeta</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Reverbero y malla de asbesto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>

<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar 10 g de almidón y disolverlo con 100 ml de agua destilada.</li> <li>- Tomar 50 mL de esta suspensión y colocarlo a baño maría con una temperatura de 85°C</li> <li>- Agitar constantemente hasta que se forme una pasta.</li> <li>- Con la ayuda de un termómetro leer directamente la temperatura de gelatinización.</li> </ul>

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.72).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

#### 2.8.3.4. Prueba de Densidad

**Tabla 12-2:** Método para medición de densidad.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Probeta de 50 mL</li> <li>- Embudo</li> <li>- Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar la probeta graduada vacía.</li> <li>- Con la ayuda de un embudo y una espátula adicionar el almidón hasta completar el volumen de 250 ml de la probeta.</li> </ul>	
<b>Cálculo</b>	
<p>Densidad aparente del almidón suelto DAS (g/mL)</p> $= \frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón})(\text{g})] - [(\text{peso probeta vacía})(\text{g})]}{250 \text{ ml}}$	

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.65).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

#### 2.8.3.5. Prueba de Viscosidad

**Tabla 13-2:** Método para medición de viscosidad.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Viscosímetro</li> <li>- Vaso de precipitación</li> <li>- Varilla de agitación</li> <li>- Reverbero y malla de asbesto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>

<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar 25 g de almidón y disolverlo en 500 ml de agua destilada.</li> <li>- Trasvasar la suspensión a un vaso de precipitación de mayor capacidad y calentarlo con agitación hasta su ebullición</li> <li>- Dejar enfriar el gel hasta 25°C y tomar una alícuota de 150 ml.</li> <li>- Medir la viscosidad a 25°C con una velocidad de 10 RPM.</li> </ul>

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.66).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.3.6. Prueba de Humedad

**Tabla 14-2:** Método para medición de humedad.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidrio reloj</li> <li>- Estufa</li> <li>- Desecador</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesar un vidrio reloj y colocar una cantidad de muestra de almidón.</li> <li>- Colocar en la estufa por un tiempo de 4 horas a una temperatura de 105 °C.</li> <li>- Llevar al desecador hasta que se encuentre a temperatura ambiente.</li> <li>- Pesar el vidrio reloj con la muestra contenida.</li> </ul>	
<b>Cálculo</b>	
$Humedad (\%) = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} * 100\%$	

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.82).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.3.7. Prueba de Cenizas

**Tabla 15-2:** Método para medición de cenizas.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crisoles</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Mufla</li> <li>- Desecador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li> <li>- Almidón de plátano verde</li> </ul>

<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavar, secar y pesar un crisol.</li> <li>- Pesar 1g de almidón en el crisol tarado.</li> <li>- Incinerar a 550°C el crisol con la muestra en la mufla durante tres horas y media</li> <li>- Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador.</li> <li>- Pesar el crisol que contiene la ceniza y calcular la cantidad de ceniza.</li> <li>- Expresar el resultado como porcentaje de cenizas totales.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>
$\text{Cenizas(\%)} = \frac{\text{peso de las cenizas(g)} \times 100}{\text{peso de muestra (g)}}$

**Fuente:** (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.91).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

#### *2.8.3.8. Prueba de contenido de fibra y proteína*

Las pruebas para determinar el contenido de fibra y proteína presentes en los almidones de pericarpio de maracuyá y plátano verde se las realizó en el Laboratorio de Aguas perteneciente a la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el mismo que se encuentra a cargo de la Ing. Gina Álvarez.

#### *2.8.3.9. Prueba de amilosa y amilopectina*

El análisis de amilosa y amilopectina lo realiza el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) específicamente el Departamento de Nutrición y Calidad en el Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos. Para realizar el análisis INIAP utiliza el método MO-LSAIA-04 y los ensayos se reportan en base seca.

#### *2.8.3.10. Pruebas microbiológicas*

Las pruebas microbiológicas las realiza la Ing. Gina Álvarez Técnica Docente del Laboratorio de Aguas perteneciente a la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para realizar las pruebas de mohos, levaduras y coliformes totales se tomó valores de referencia presentes en la Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO).

#### 2.8.4. Técnica de obtención de biopelículas

**Tabla 16-2:** Método para la obtención de biopelículas.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Reverbero</li><li>- Malla de asbesto</li><li>- Vasos de precipitación</li><li>- Varilla de agitación</li><li>- Probetas</li><li>- Balanza analítica</li><li>- Papel aluminio</li><li>- Espátula</li><li>- Moldes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Agua destilada</li><li>- Glicerol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>)</li><li>- Ácido Acético (CH<sub>3</sub>COOH)</li><li>- Carboximetilcelulosa (CMC)</li><li>- Almidón del pericarpio de maracuyá</li><li>- Almidón de plátano verde</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- En un vaso de precipitación se preparó soluciones de agua destilada – almidón (variando concentraciones).</li><li>- Se colocó la solución sobre un reverbero utilizando una malla de asbesto como material de protección, a temperatura baja.</li><li>- Se agitó la solución de forma constante hasta alcanzar su temperatura de gelatinización.</li><li>- Después se agregó los plastificantes (glicerol - carboximetilcelulosa) y el conservante (Ácido acético), se agitó hasta homogenizar la mezcla y se dejó enfriar (se variarán las concentraciones del plastificante).</li><li>- Finalmente, mediante el método casting se vertió esta mezcla sobre un molde de acrílico y se dejó secar a temperatura ambiente por un tiempo determinado hasta obtener las propiedades cualitativas deseadas.</li></ul>	

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.5. Técnica de caracterización de las biopelículas

#### 2.8.5.1. Espesor

**Tabla 17-2:** Método de medición de espesor.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Pie de rey</li><li>- Bisturí</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Biopelículas</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Recortar 10 películas con medidas de 2,5 cm x 2,5 cm de cada una de las muestras</li><li>- Medir el espesor de las películas usando el pie de rey</li><li>- Promediar las mediciones dadas.</li></ul>	

**Fuente:** (Escobar et al., 2009, p.34).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

#### 2.8.5.2. Humedad

**Tabla 18-2:** Método de medición de humedad.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Balanza analítica</li><li>- Estufa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Biopelículas</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Dejar los crisoles en la estufa por dos horas a una temperatura de 105°C.</li><li>- Sacar de la estufa y colocar en el desecador.</li><li>- Pesar el crisol frío.</li><li>- Pesar 3 gramos de la muestra en el crisol.</li><li>- Introducir los crisoles con la muestra previamente pesados en la estufa a una temperatura de 105°C.</li><li>- Pesar luego de 2 horas.</li><li>- Repetir el procedimiento hasta que se tenga peso constante para sus repeticiones.</li></ul>	
<b>Cálculo</b>	
$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{peso inicial biopelícula (g)} \times 100}{\text{peso final biopelícula (g)}}$	

**Fuente:** (Escobar et al., 2009, p.34).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.5.3. Medición de la tracción

La prueba de tracción de los 4 tratamientos de las biopelículas se realizó en el Laboratorio de Curtiembres perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Las muestras de las biopelículas deben tener 7 cm de largo total; 3,5 cm de largo de la probeta y 1,5 cm de ancho de la probeta. La medición de la tracción se hizo en el equipo Elastómetro, el cual mide la distancia inicial, distancia final, diferencia de distancias en metros (m) y la fuerza en Newton (N).

### 2.8.5.4. Medición de solubilidad del plástico

**Tabla 19-2:** Método de medición de solubilidad.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Shaker</li><li>- Papel filtro</li><li>- Vasos de plástico 80 mL</li><li>- Balanza analítica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Biopelículas</li><li>- Agua destilada</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Cortar muestras de cada tratamiento con tamaños de 2,5x2,5</li><li>- Colocar la muestra en vasos de plástico con 80 mL de agua destilada y tapar bien.</li><li>- Colocar la muestra preparada en el Shaker por aproximadamente 1 hora a 200 rpm.</li><li>- Retirar del Shaker y colocar las muestras en un papel filtro.</li><li>- Ingresar en la estufa a una temperatura de 105°C.</li><li>- Pesar hasta obtener peso constante.</li></ul>	
<b>Cálculo</b>	
$(\%)Solubilidad = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} * 100$	

**Fuente:** (Escobar et al., 2009, p.34).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

2.8.5.5. Medición de permeabilidad del plástico.

**Tabla 20-2:** Método de medición de permeabilidad.

Materiales y Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubos de ensayo</li> <li>- Desecador</li> <li>- Vasos de plástico 80 mL</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biopelículas</li> <li>- Sílica gel</li> <li>- Solución salina</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dejar activando la sílica gel por 24 horas hasta obtener una humedad relativa del 0%.</li> <li>- Realizar las muestras por triplicado y lavar los tubos de ensayo.</li> <li>- Cortar muestras de los bioplásticos por cada tratamiento de 2,5x2, 5.</li> <li>- Llenar los tubos de ensayo con las <math>\frac{3}{4}</math> de la sílica gel.</li> <li>- Con las muestras cortadas sellar el tubo en el que se añadió la sílica gel, y asegurar el tubo para que no existan fugas.</li> <li>- Colocar una solución salina en la base del desecador.</li> <li>- Pesar los tubos.</li> <li>- Ingresar los tubos ya sellados en el desecador con una humedad relativa del 50% y dejar por una hora.</li> <li>- Tomar los pesos cada hora por 6 horas.</li> </ul>	
<b>Cálculo</b>	
$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$ <p>En donde:</p> <p><math>P_2</math>: Peso de la lámina final.</p> <p><math>P_1</math>: Peso de la lámina inicial.</p> <p>E: espesor de la lámina.</p> <p>T: tiempo de determinación.</p> <p>pv: presión de vapor del proceso.</p> <p><math>\varphi_1</math>: Humedad relativa al interior de la celda.</p> <p><math>\varphi_2</math>: Humedad relativa de la camara con NaCl saturado.</p>	

**Fuente:** (Escobar et al., 2009, p.34).

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### 2.8.5.6. Medición de biodegradabilidad

**Tabla 21-2:** Método de medición de biodegradabilidad.

<b>Procedimiento</b>
<p>El procedimiento se realizó en base al trabajo de investigación “Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (<i>L. vannamei</i>)”.</p> <p>Añadiendo varios cambios:</p> <p>Se tomaron varias muestras de dimensiones 3 x 3 cm. La biodegradabilidad se evaluó en agua, suelo y aire; se consideró un tiempo de exposición de 30 días y cada semana se fue registrando su área.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Agua: colocar la biopelícula en un recipiente con 150 mL de agua potable.</li><li>- Suelo: primero colocar una capa de tierra o compost, después colocar la biopelícula y nuevamente colocar otra capa de tierra.</li><li>- Aire: en una bandeja colocar la biopelícula para su exposición al ambiente.</li></ul>
<b>Cálculo</b>
$\%Pérdida\ de\ área = \frac{(A_i - A_f)}{A_i} \times 100\%$ <p>Dónde:</p> <p><math>A_i</math> = Área inicial de la biopelícula.</p> <p><math>A_f</math> = Área final de la biopelícula.</p>

**Fuente:** (López et al., 2010, pp.136-137).

**Realizado por:** Caiza, Pamela, 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. *Resultados del diseño experimental 2<sup>2</sup> para obtener el mejor rendimiento en la extracción de plátano verde*

La extracción de almidón de plátano verde se basó en el método húmedo debido a que según (Medina et al., 2010, p.67), el tratamiento con agua es más eficiente en la extracción de los almidones. Por medio de la aplicación del método húmedo se obtuvo almidón a partir de plátano verde. El proceso inicia con la selección de la materia prima verificando el buen estado del plátano verde, se realiza el lavado eliminando todas las impurezas, extraer la pulpa del plátano verde y reducir el tamaño del mismo para poder licuar, se filtra la materia prima licuada y se deja reposar por 24 horas para eliminar el sobrenadante y obtener el almidón.

Para obtener el mejor rendimiento se aplicó el diseño factorial 2<sup>2</sup>, teniendo en cuenta dos variables el tiempo de licuado desde 45 s hasta 60 s y las revoluciones por minuto (RPM) baja 2000 y alta 6800. Se realizó 4 tratamientos cada uno cuenta con 4 repeticiones dando un total de 16 experimentos, para cada repetición se utilizó 200 g de plátano verde con 500 mL de agua.

En la Tabla 1-3 podemos observar el rendimiento para los 4 tratamientos realizados y también se realizó un análisis de varianza correspondiente al paquete estadístico ANOVA Tabla 2-3, el cual nos indica si existen diferencias significativas en los tratamientos.

En la Tabla 3-3 se encuentra el análisis de Tukey realizado para los 4 tratamientos y de esta manera poder encontrar entre cuáles tratamientos existe la diferencia significativa, tomando en cuenta el valor 3,9. Los tratamientos que tengan valores mayores al mencionado anteriormente si tienen diferencia significativa, mientras que los tratamientos con valores menores no tendrán diferencia significativa; lo cual indicaría que se puede utilizar cualquiera de los tratamientos.

**Tabla 1-3:** Rendimiento de tratamientos para la obtención de almidón de plátano verde (*Musa paradisíaca*).

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (mL)	PESO (g)				RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (h)
					PRODUCTO	ALMIDÓN			R	PROMEDIO	
						(g)	R	PROMEDIO			
1	T1	RPM A : 45	R1	500	200	33,467	34,246	136,983	16,734	17,123	120
2			R2			36,078			18,039		
3			R3			31,366			15,683		
4			R4			36,072			18,036		
5	T2	RPM A : 60	R1			61,537	56,058	224,232	30,769	28,029	120
6			R2			62,579			31,290		
7			R3			50,149			25,075		
8			R4			49,967			24,984		
9	T3	RPM B : 45	R1			24,919	26,041	104,162	12,460	13,020	120
10			R2			26,311			13,156		
11			R3			25,286			12,643		
12			R4			27,646			13,823		
13	T4	RPM B : 60	R1			33,745	34,087	136,349	11,873	17,044	120
14			R2			35,027			10,014		
15			R3			32,622			11,311		
16			R4			34,955			11,537		

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 2-3:** Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos en la extracción de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*).

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	227,648	1	227,648	64,838	3,517E-06	4,747
Columnas	222,905	1	222,905	63,487	3,918E-06	4,747
Interacción	47,376	1	47,376	13,493	3,187E-03	4,747
Dentro del grupo	42,132	12	3,511			
Total	540,061	15				

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 3-3:** Análisis de Tukey para la extracción de almidón de plátano verde.

T1	T2	T3	T4
16,73	30,77	12,46	16,87
18,04	31,29	13,16	17,51
15,68	25,08	12,64	16,31
18,04	24,98	13,82	17,48
<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>
17,12	28,03	13,02	17,04

	T1	T2	T3	T4
T1		10,91	4,1	0,08
T2			15,01	10,99
T3				4,02
T4				

Realizado por: Caiza, P. 2021.

HSD = 3,93  
 Multiplicador = 4,20  
 Mse = 3,51  
 n = 4

Si hay diferencia significativa  
 No hay diferencia significativa

De acuerdo con (Mazzeo et al., 2008, p.66) el rendimiento de almidón extraído en su investigación fue 12,54%, se llevaron a cabo 5 repeticiones por cada método para un total de 10 ensayos que consumieron 200 kg de plátano verde, mientras que al realizar el análisis correspondiente de la presente investigación se determina que el mejor tratamiento para extraer el almidón del plátano verde es el Tratamiento 2 con un rendimiento igual a 28,029%; el cual se realizó con un tiempo de 60 segundos y 6800 RPM. Cabe destacar que en ambos casos se utilizó el método húmedo para extraer el almidón pero al momento del licuado en la presente investigación se lo realizó con una Licuadora Oster mientras que (Mazzeo et al., 2008, p.66) utilizó una licuadora industrial por un tiempo de 5 minutos. La diferencia entre los dos rendimientos pudo darse por las lavadas que se le dio a la lechada después del licuado.

Al realizar el análisis de varianza correspondiente al paquete estadístico ANOVA para los 4 tratamientos realizados se determinó que el punto entre la probabilidad y la interacción es  $3,187E-03$  mucho menor a 0,05 lo cual nos indica que, si hay diferencias significativas, pero no nos indica entre cuales tratamientos existen dichas diferencias.

Se realiza el análisis de Tukey para determinar entre cuales tratamientos existen las diferencias y en este caso entre el T1, T2; T1, T3; T2, T3; T2, T4 y T3, T4 existen diferencias significativas porque son datos mayores con respecto a la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) la cual tiene un valor de 3,97; mientras que entre el T1 y T4 no existe diferencia significativa lo que nos indica que se podría utilizar cualquiera de los dos tratamientos.



**Figura 1-3:** Tratamientos en la obtención de almidón de plátano verde

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

### **3.1.2. Resultados del diseño experimental $2^2$ para obtener el mejor rendimiento en la extracción del almidón de pericarpio de maracuyá**

Para extraer el almidón del pericarpio de maracuyá se utilizó el método seco el cual consiste en seleccionar la materia prima, lavar para eliminar todo tipo de impurezas, despulpar todo el maracuyá debido a que se utilizará el pericarpio, secar en la estufa por 24 horas a 60 °C, moler o triturar el pericarpio, tamizar por distintas mallas para obtener el almidón y almacenarlo para su posterior uso. Se utilizó el método seco para obtener almidón de pericarpio de maracuyá debido a que el maracuyá tiene presente en su estructura azúcares lo cual lo conducen a fermentarse y el almidón no sedimenta como lo hace en el método húmedo.

Al aplicar el diseño experimental  $2^2$  se utilizó dos variables la temperatura de 50 a 60 °C y el tiempo de secado de 12 a 24 horas, utilizando un secador de bandejas tipo armario que se encuentra en el Laboratorio de Procesos Industriales.

Se realizó 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno teniendo un total de 16 ensayos como se puede observar en la Tabla 4-3, también se realizó el análisis de varianza correspondiente al paquete estadístico ANOVA Tabla 5-3 para determinar las diferencias significativas entre los 4 tratamientos realizados.

En la Tabla 6-3 se encuentra el análisis de Tukey realizado para los 4 tratamientos y de esta manera poder encontrar entre cuáles tratamientos existe la diferencia significativa, tomando en cuenta el valor 1,88. Los tratamientos que tengan valores mayores al mencionado anteriormente si tienen diferencia significativa, mientras que los tratamientos con valores menores no tendrán diferencia significativa; lo cual indicaría que se puede utilizar cualquiera de los tratamientos.



**Figura 2-3:** Tratamientos en la obtención de almidón de pericarpio de maracuyá

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

**Tabla 4-3:** Rendimiento de tratamientos para la obtención de almidón de pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*).

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	PESO (g)				RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (h)
				PRODUCTO	ALMIDÓN			R	PROMEDIO	
				(g)	R	PROMEDIO	TOTAL			
1	<b>T1</b>	60 °C : 12 h	R1	200	18,092	19,234	76,937	9,162	9,403	12
2			R2		19,019			8,783		
3			R3		19,757			9,814		
4			R4		20,069			9,851		
5	<b>T2</b>	60 °C : 24 h	R1		34,062	33,422	133,688	14,531	12,911	24
6			R2		32,383			12,192		
7			R3		34,115			10,358		
8			R4		33,128			14,564		
9	<b>T3</b>	50 °C : 12 h	R1		10,702	9,159	36,634	5,481	4,917	12
10			R2		9,865			4,323		
11			R3		9,054			4,014		
12			R4		7,013			5,851		
13	<b>T4</b>	50 °C : 24 h	R1		12,124	12,105	48,418	6,351	6,355	24
14			R2		11,565			5,933		
15			R3		12,028			6,527		
16			R4		12,701			6,607		

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 5-3:** Análisis de varianza de los tratamientos obtenidos en la extracción de almidón del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*).

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	121,926	1	121,926	92,406	0,000	4,747
Columnas	24,463	1	24,463	18,540	0,001	4,747
Interacción	4,291	1	4,291	3,252	0,096	4,747
Dentro del grupo	15,834	12	1,319			
Total	166,513	15				

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Al realizar el respectivo análisis se determina que el mejor tratamiento es el Tratamiento 2 con un rendimiento igual a 12,911%, el cual se realizó con la temperatura de 60 °C y un tiempo de 24 horas. (Chung et al., 2018, pp.95-96) realizó dos experimentos: 2,495 kg de cáscara a 70 °C por 11 horas y 4,125 kg de cáscara a 90 °C por 17 horas obteniendo un peso neto de 343,44 y 598,68 g respectivamente. Cabe recalcar que en la presente investigación se realizó 4 tratamientos con 4 repeticiones por cada uno y diferentes tiempos y temperaturas mientras que (Chung et al., 2018, pp.95-96) no realizó repeticiones en sus experimentos para obtener harina de maracuyá y utilizo diferentes cantidades de materia prima, además realizaron el proceso de tamizado con coladores caseros los cuales no tienen mallas bien finas para obtener almidón.

Al realizar el análisis de varianza correspondiente al paquete estadístico ANOVA para los 4 tratamientos realizados se determinó que el punto entre la probabilidad y la interacción es 0,096 mayor a 0,05 lo cual nos indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados.

**3.1.3. Resultados del análisis físico químico del almidón obtenido a partir de pericarpio del maracuyá y plátano verde.**

**Tabla 7-3:** Resultados del análisis físico químico del almidón de pericarpio del maracuyá.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Humedad	%	4,72
Ceniza	%	1,07
Solubilidad	%	11,57
Ph		6,07
Viscosidad	cP	42421,00
Temperatura de gelatinización	°C	72,00
Densidad	g/mL	0,24

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 8-3:** Resultados del análisis físico químico del almidón de plátano verde.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Humedad	%	12,70
Ceniza	%	0,93
Solubilidad	%	5,42
pH		5,54
Viscosidad	cP	1519,00
Temperatura de gelatinización	°C	70,00
Densidad	g/mL	0,32

Realizado por: Caiza, P. 2021.

El contenido de humedad presente en el almidón de pericarpio de maracuyá es 4,72% mientras que (Chariguamán, 2015, p.19) en su investigación tiene un porcentaje de humedad de 10,23%, esto debido al proceso utilizado en la obtención del almidón. El contenido de humedad en el plátano verde es de 12,70%, (Dávila, 2014, p.26) en su investigación reportó un 40% de humedad valor que se encuentra alejado del mencionado anteriormente; estos valores varían debido al índice de madurez del plátano verde y también por las condiciones del cultivo.

El contenido de ceniza reportado por (Dávila, 2014, p.26) es de 0,84% el cual no se encuentra tan alejado del valor en la presente investigación que es igual a 0,93% y 1,07% para el maracuyá.

Con respecto a la solubilidad los análisis del pericarpio de maracuyá y plátano verde determinaron los valores de 11,57 y 5,42; para viscosidad 42421 y 1519 cP respectivamente, mientras que (Martínez et al., 2015, p.293) en su investigación de almidones de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas reporta valores de 20,24% y 5268 a 33080 cP.

Se conoce como proceso de gelatinización cuando los gránulos de almidón se hidratan al momento de calentarse en un medio acuoso (Ramos, 2016, p. 31). Las temperaturas de gelatinización para el maracuyá y el plátano verde van de 70 a 72 °C comparadas con las temperaturas presentadas en la investigación de (Hernández et al., 2008, p.122) para el makal, camote, yuca y sagú son 78,4, 61,3, 65,2 y 74,9 °C, respectivamente. Según menciona (Ramos, 2016, p.32) la temperatura de gelatinización del almidón se ha cumplido a 88-90°C y hasta 95°C, aunque los almidones varían en las temperaturas de gelatinización.

(Dávila, 2014, p.26) en su investigación Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*) obtuvo un pH de 5,93; el cual no se encuentra muy lejano de los valores de pH obtenidos en la presente investigación siendo unos valores de 5,54 y 6,07. Estos valores indican que los frutos estaban en estado inmaduro debido a que en la maduración se produce ácido málico y disminuye el pH.

El valor de densidad para el pericarpio de maracuyá es igual a 0,24 y para el plátano verde dio un valor de 0,32 comparados con el valor de referencia por la FAO es de 1,506 g/mL. Los valores de la presente investigación varían con el referido porque es para el almidón de yuca.

Debido al peso ligero de los átomos que componen a los plásticos generalmente carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno y más la distancia promedio entre los átomos del plástico es relativamente grande, da como resultado un rango bajo de densidad entre los plásticos (Meneses et al., 2007, p.65).

Las variaciones en los datos podrían darse por distintos tiempos en los que se colocaron las muestras en la estufa y por el estado de maduración del maracuyá y plátano verde.

El proceso de caracterización de las materias primas utilizadas en la presente investigación es fundamental para justificar varios comportamientos que ocurren durante el transcurso de su aplicación.

**3.1.4. Resultados del análisis proximal del almidón de pericarpio del maracuyá y plátano verde.**

**Tabla 9-3:** Resultados del análisis proximal del almidón de pericarpio del maracuyá.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Fibra	%	0,11
Proteína	%	0,41
Carbohidratos Totales	%	93,69
Amilosa	%	4,73
Amilopectina	%	95,27

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 10-3:** Resultados del análisis proximal del almidón de plátano verde.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Fibra	%	0,25
Proteína	%	0,70
Carbohidratos Totales	%	85,42
Amilosa	%	35,45
Amilopectina	%	64,55

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Al realizar las pruebas de fibra y proteína a los almidones de pericarpio de maracuyá y plátano se obtuvo 0,11; 0,25% y 0,41; 0,70% respectivamente. En la caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán realizado por (Hernández et al., 2008, p.722) se determinó valores de fibra 0,35, 0,28, 1,01, 0,06, y proteína 0,16, 0,22, 0,06, 0,64; los cuales no se encuentran tan alejados de los datos obtenidos en la presente investigación.

El porcentaje de carbohidratos totales determinado fue de 93,69 y 85,42. Estos valores se encuentran cercanos a los valores obtenidos en la investigación realizada por (Pozo, 2019, p.86) en la cual obtuvo un resultado de carbohidratos igual a 86,98%.

La determinación de amilosa se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP y el método utilizado fue MO-LSAIA-04 en base seca, teniendo como resultado 4,73 y

35,45%. Para obtener los valores de la amilopectina se realizó una diferencia (100-amilosa) siendo igual a 95,27 y 64,55%. (Hernández et al., 2008, p.722) reporta que en su investigación obtuvo resultados de Amilosa: 23,6; 19,6; 17 y 22,7% y Amilopectina: 76,4; 80,4; 83 y 77,3% para almidones de tubérculos, siendo valores altos con respecto a la amilosa presente en el almidón de maracuyá. Todos los almidones son diferentes entre sí debido al contenido de amilosa y amilopectina en función a su origen del cual son obtenidos. Las películas de almidón tendrán mayor cristalinidad debido al alto contenido de amilopectina presente (Enríquez et al., 2012, p.184). El contenido de amilosa, amilopectina, fibra, cenizas y proteína, determinarán en los almidones varias características tanto estructurales como funcionales (Hernández et al., 2008, p.722).

### 3.1.5. Resultados del análisis microbiológico del almidón obtenido a partir de pericarpio del maracuyá y plátano verde.

**Tabla 11-3:** Resultados del análisis microbiológico del almidón de pericarpio del maracuyá.

DETERMINACIONES	UNIDADES	VALORES DE REFERENCIA	RESULTADOS
Coliformes Totales	UFC/g	-	Ausencia
Coliformes Fecales ( <i>Escherichia coli</i> )	UFC/g	<10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	1000-5000	Ausencia

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 12-3:** Resultados del análisis microbiológico del almidón de plátano verde.

DETERMINACIONES	UNIDADES	VALORES DE REFERENCIA	RESULTADOS
Coliformes Totales	UFC/g	-	Ausencia
Coliformes Fecales ( <i>Escherichia coli</i> )	UFC/g	<10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	1000-5000	Ausencia

Realizado por: Caiza, P. 2021.

El análisis microbiológico es utilizado para determinar el número unidades formadoras de colonias UFC en el almidón, dicho análisis se realizó en el Laboratorio de Aguas perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca (FAO) tiene como valores de referencia para Coliformes Totales valores de ausencia en el almidón, para coliformes fecales (*Escherichia coli*) en el almidón tiene que ser menor de 10 UFC/g, para mohos y levaduras no tiene que ser mayor de 1 000 - 5 000 UFC/g (Aristizábal et al., 2007, pp. 93-98).

El análisis consiste en determinar la cantidad de coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*), mohos y levaduras tomando valores de referencia de la Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca (FAO) obteniendo como resultados valores de ausencia en los parámetros mencionados anteriormente, lo cual nos indica que los almidones se encuentran en buen estado para su posterior uso en la elaboración de biopelículas para el recubrimiento de alimentos.

### 3.1.6. Formulaciones planteadas para elaborar biopelículas aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup>

**Tabla 13-3:** Formulaciones para elaborar biopelículas.

TRATAMIENTOS	CANTIDADES					
	Almidón de plátano verde (g)	Almidón de pericarpio de maracuyá (g)	Glicerina (ml)	Agua Destilada (ml)	Ácido Acético (ml)	CMC (ml)
T1	5	1	2	100	6	1,5
T2	5	1	2	100	6	1
T3	5	2	2	100	6	1,5
T4	5	2	2	100	6	1

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Aplicando el diseño factorial 2<sup>2</sup> para obtener las biopelículas se elaboró 4 formulaciones considerando como variables al porcentaje de almidón y al porcentaje de carboximetilcelulosa. Para las formulaciones se trabajó con una concentración de almidón de pericarpio de maracuyá entre 1-2 gramos y una concentración de carboximetilcelulosa entre 1-1,5 ml, manteniendo constante el almidón de plátano verde, la glicerina, el agua destilada y el ácido acético. En la Tabla 12-3 se observa el diseño experimental realizado para cada formulación con 4 repeticiones de cada uno obteniendo así un total 16 tratamientos.

Como lo menciona (Enríquez et al., 2012, p.186) la glicerina actúa como plastificante y le da la flexibilidad al bioplástico y la carboximetilcelulosa aumenta la resistencia a la tensión de las biopelículas obtenidas.

**Tabla 14-3:** Resultado del análisis factorial 2<sup>2</sup> en la obtención de biopelículas.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	TEMPERATURA (°C)	SECADO		PESO (g)	ESPESOR (mm)	
				TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)			
T1	CA1 : CMC1	R1	70, 72	25	96	0,084	0,3	0,283
		R2				0,101	0,28	
		R3				0,134	0,29	
		R4				0,115	0,26	
T2	CA1 : CMC2	R1				0,122	0,19	0,185
		R2				0,111	0,2	
		R3				0,136	0,17	
		R4				0,122	0,18	
T3	CA2 : CMC1	R1				0,126	0,3	0,288
		R2				0,11	0,26	
		R3				0,106	0,29	
		R4				0,102	0,3	
T4	CA2 : CMC2	R1				0,135	0,2	0,188
		R2				0,133	0,18	
		R3				0,11	0,18	
		R4				0,11	0,19	

Realizado por: Caiza, P. 2021.

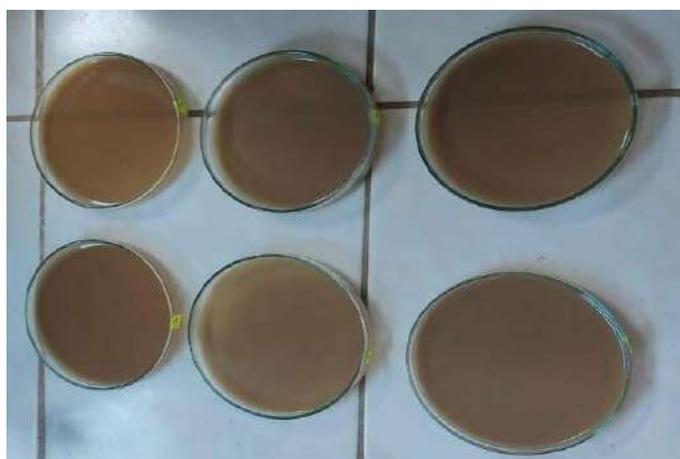
**Tabla 15-3:** Análisis de varianza de las formulaciones para obtener biopelículas.

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	0,0001	1	0,0001	0,421	0,528	4,747
Columnas	0,038025	1	0,038025	160,105	2,673E-08	4,747
Interacción	2,5E-05	1	2,5E-05	0,105	0,751	4,747
Dentro del grupo	0,00285	12	0,0002375			
Total	0,041	15				

Realizado por: Caiza, P. 2021.

En la Tabla 13-3 se puede observar que se realizó 4 formulaciones y de cada una se realizó 4 repeticiones para tener un total de 16 tratamientos. Las formulaciones CA1: CMC1 en donde, CA1 es 5 g de almidón de plátano verde, 1 g de almidón de pericarpio de maracuyá y CMC1 es 1,5 mL de carboximetilcelulosa, CMC2 es 1mL de carboximetilcelulosa y CA2 es 5 g de almidón de plátano verde, 2 g de almidón de pericarpio de maracuyá. El agua destilada, la glicerina y el ácido acético se mantienen constantes en las 4 formulaciones realizadas.

Al realizar el análisis de varianza Tabla 14-3 correspondiente al paquete estadístico ANOVA para las 4 formulaciones realizadas se determinó que el punto entre la probabilidad y la interacción es 0,751 mayor a 0,05 lo cual nos indica que si existen diferencias significativas entre las formulaciones aplicadas.



**Figura 3-3:** Biopelículas obtenidas a partir del diseño  $2^2$

Realizado por: Caiza, P. 2021.

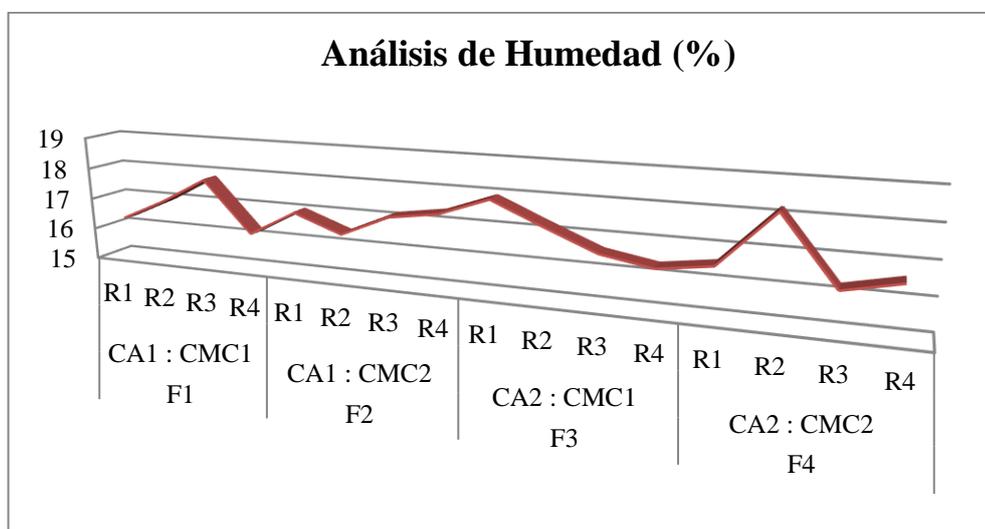
**3.1.7. Resultados de la caracterización de las biopelículas obtenidas.**

**3.1.7.1. Análisis de humedad**

**Tabla 16-3:** Análisis de humedad de las biopelículas.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	HUMEDAD (%)
F1	CA1 : CMC1	R1	16,32
		R2	17
		R3	17,81
		R4	16,19
F2	CA1 : CMC2	R1	17,00
		R2	16,45
		R3	17,12
		R4	17,35
F3	CA2 : CMC1	R1	17,91
		R2	17,24
		R3	16,60
		R4	16,33
F4	CA2 : CMC2	R1	16,56
		R2	18,20
		R3	16,22
		R4	16,58

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 1-3:** Análisis gráfico del porcentaje de humedad en las biopelículas.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Según (Arévalo et al., 2018, p.39) los recubrimientos elaborados a base de almidón habitualmente son comparados en cuanto a la característica de barrera al oxígeno con otras opciones de envolturas, debido a que, al ser una buena barrera entre el oxígeno atmosférico y el alimento se logra alargar la vida del mismo. Al determinar los valores de humedad en los tratamientos tenemos resultados de 16,83; 16,98; 17,02 y 16,89%; los cuales se encuentran dentro del rango establecido de humedad 16,64 – 22,51% en la investigación de (Escobar et al., 2009, p.33-36). Siendo la formulación 3 presentando el mayor porcentaje de humedad con respecto a las demás.

A niveles de humedad relativa bajos o intermedios, las biopelículas y recubrimientos a base de polisacáridos son buenas barreras contra el oxígeno debido a su alta estructura en red con enlaces de hidrógeno ordenados (Arévalo et al., 2018, p.39).



**Figura 4-3:** Análisis de humedad de la biopelícula

Realizado por: Caiza, P. 2021.

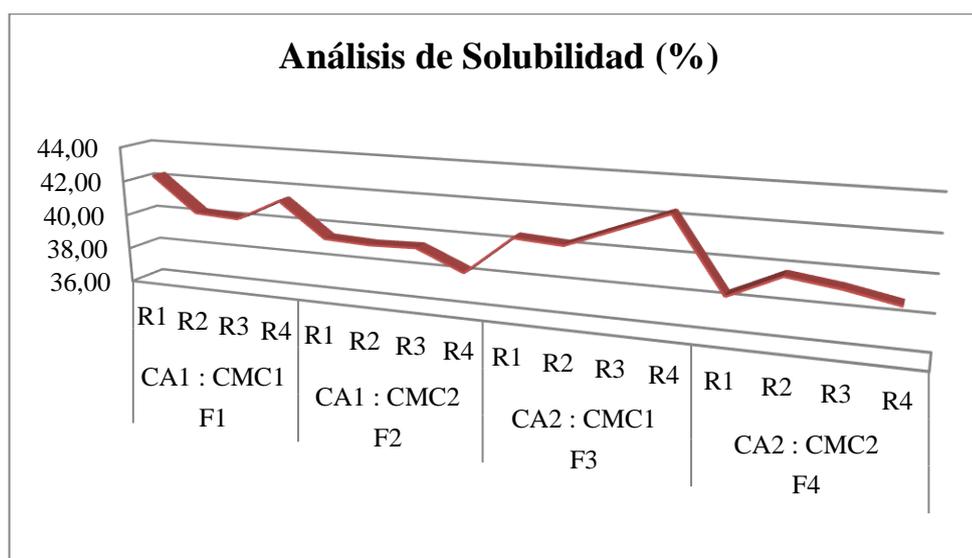
### 3.1.7.2. Análisis de solubilidad

**Tabla 17-3:** Análisis de solubilidad de las biopelículas.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	SOLUBILIDAD (%)	
F1	CA1 : CMC1	R1	42,29	41,02
		R2	40,27	
		R3	40,13	
		R4	41,39	
F2	CA1 : CMC2	R1	39,44	39,11
		R2	39,32	
		R3	39,4	
		R4	38,26	

F3	CA2 : CMC1	R1	40,43	41,10
		R2	40,26	
		R3	41,32	
		R4	42,37	
F4	CA2 : CMC2	R1	38,38	39,04
		R2	39,69	
		R3	39,32	
		R4	38,77	

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 2-3:** Análisis gráfico del porcentaje de solubilidad en las biopelículas.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

La solubilidad en agua está definida como el porcentaje de sólidos disueltos en la película después de sumergirse en agua durante 24 horas (Escobar et al., 2009, p.34).

Según (Palma et al., 2017, p.4) en su investigación determinó una solubilidad de  $7.28 \pm 0,19$  para una biopelícula con almidón de plátano pero al agregar proteínas séricas obtiene  $32.42 \pm 1.29$  mencionando que el aumento de la solubilidad se da al adicionar las proteínas séricas por una posible interacción entre los grupos  $-OH$  que se encuentran presentes en las proteínas y más los grupos  $-OH$  presentes en el almidón se podría estar incrementando la afinidad por el agua.

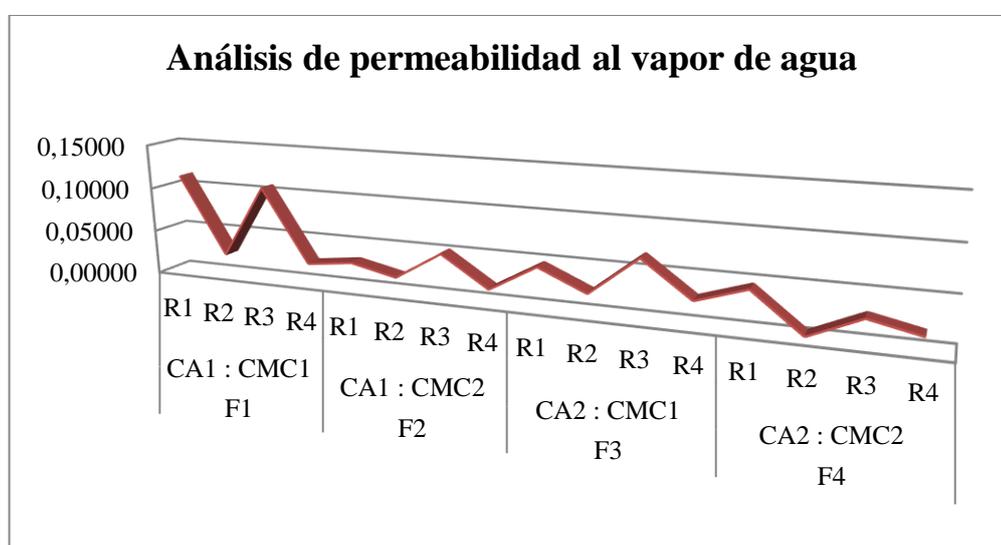
Al observar los resultados obtenidos determinamos que la formulación 3 tiene un porcentaje de solubilidad de 41,10 debido al plastificante utilizado ya que el glicerol es un plastificante soluble en agua y el aumento de la concentración del mismo mejorará la solubilidad en agua de la biopelícula (Enríquez et al., 2012, p.185).

### 3.1.7.3. Análisis de Permeabilidad al vapor de agua

**Tabla 18-3:** Análisis de permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas.

TIEMPO (h)	TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (g/h.m.MPA)
6	F1	CA1 : CMC1	R1	0,11377
			R2	0,02493
			R3	0,10673
			R4	0,02388
6	F2	CA1 : CMC2	R1	0,03023
			R2	0,01879
			R3	0,05041
			R4	0,01640
6	F3	CA2 : CMC1	R1	0,04648
			R2	0,02315
			R3	0,06627
			R4	0,02734
6	F4	CA2 : CMC2	R1	0,04501
			R2	0,00290
			R3	0,02763
			R4	0,01585

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 2-3:** Análisis gráfico del porcentaje de permeabilidad en las biopelículas.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Se define a la permeabilidad al vapor de agua como la tasa de transmisión de vapor de agua por unidad de área de un material y por unidad de diferencia de presión entre dos superficies específicas bajo condiciones específicas de temperatura y humedad (Escobar et al., 2009, p.34).

De acuerdo al análisis de permeabilidad realizado a las biopelículas la formulación 1 tiene mayor porcentaje de permeabilidad siendo igual a 0,06733; esto podría darse por la concentración del plastificante la glicerina o glicerol incrementa la permeabilidad al vapor de la biopelícula debido a su naturaleza hidrofílica, puede formar fácilmente puentes de hidrógeno utilizando moléculas de agua y permanece constante en las 4 formulaciones, también puede ser por la presencia del ácido acético, (Rosales, 2016, p.25) menciona que se lo puede utilizar como modificador químico debido a que tiene la propiedad de reducir la capacidad hidrofílica del almidón y hacer que el material sea hidrófobo. (Palma et al., 2017, p.29) en su investigación obtuvo un mayor porcentaje  $1.20 \pm 2.07$  concluyendo que al añadir proteínas séricas no afecta la permeabilidad al vapor de agua debido a que en las biopelículas solo con almidón de plátano tiene un porcentaje de permeabilidad de  $1.32 \pm 1.19$ .

#### *3.1.7.4. Análisis de Biodegradabilidad*

La Organización Internacional de Normalización ISO y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM definen a la degradación como proceso irreversible que provoca cambios importantes en la estructura de un material. A menudo se caracteriza por una pérdida de propiedades tales como integridad, peso molecular, estructura mecánica o resistencia y fragmentación (Castellón et al., 2016, p.3).

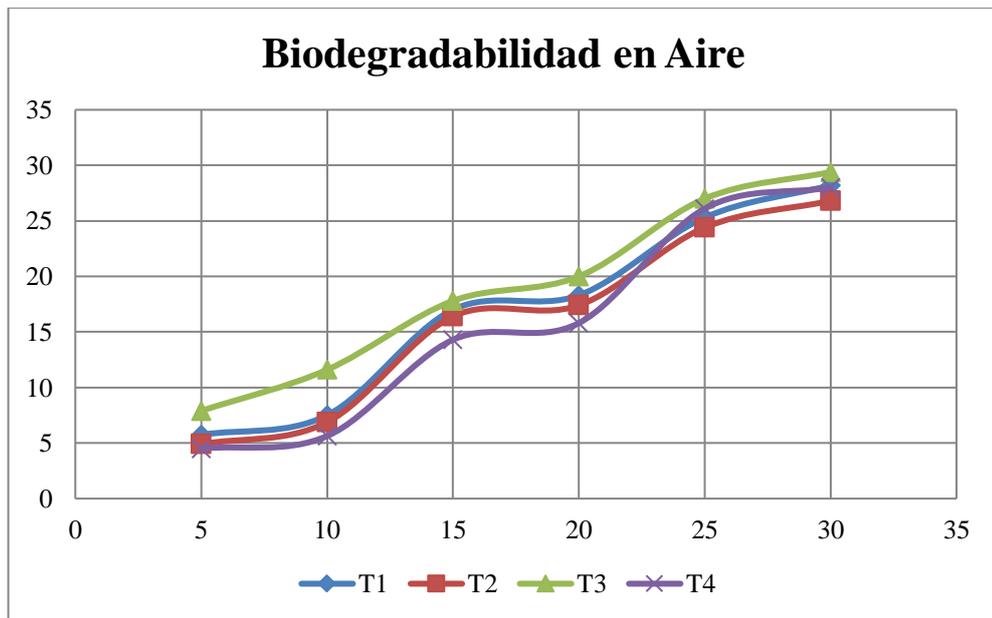
La biodegradación se refiere al proceso que explica la mineralización de estructuras orgánicas por microorganismos. Convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa. Los procesos de biodegradación incluyen dos tipos: biodegradación primaria y biodegradación secundaria o mineralización. En el transcurso de la biodegradación primaria, ocurren cambios estructurales individuales en la molécula original, perdiendo sus propiedades fisicoquímicas y durante la biodegradación secundaria o completa, los microorganismos metabolizan las sustancias químicas como fuente de carbono y energía y las convierten en compuestos completamente inorgánicos. La descomposición puede ocurrir en presencia de oxígeno aeróbico o en ausencia de oxígeno anaeróbico (Ballesteros, 2014, pp.5-6).

Para llevar a cabo el análisis de biodegradabilidad se utilizó tres diferentes medios que son aire, agua y suelo. Los datos y resultados se recolectaron cada 5 días por un mes como se puede observar en las Tablas 18-3, 20-3 y 22-3, se trabajó con las áreas de cada biopelícula utilizando el programa Imagej, con el cual se puede establecer el área de todas las biopelículas para obtener el porcentaje de pérdida de área final.

**Tabla 19-3:** Resultados de biodegradabilidad en aire.

N°	BIODEGRADABILIDAD EN AIRE												
	0,00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
<b>T1</b>	9,00	8,48	<b>5,74</b>	8,33	<b>7,5</b>	7,47	<b>17,0</b>	7,35	<b>18,3</b>	6,73	<b>25,3</b>	6,46	<b>28,2</b>
<b>T2</b>	9,00	8,56	<b>4,9</b>	8,38	<b>6,88</b>	7,52	<b>16,4</b>	7,43	<b>17,4</b>	6,81	<b>24,4</b>	6,59	<b>26,8</b>
<b>T3</b>	9,00	8,29	<b>7,9</b>	7,95	<b>11,6</b>	7,40	<b>17,8</b>	7,20	<b>20,0</b>	6,57	<b>27,0</b>	6,35	<b>29,4</b>
<b>T4</b>	9,00	8,60	<b>4,5</b>	8,49	<b>5,63</b>	7,71	<b>14,3</b>	7,58	<b>15,8</b>	6,65	<b>26,1</b>	6,48	<b>28,0</b>

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 3-3:** Análisis gráfico de biodegradabilidad

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 20-3:** Resultados de la apariencia de la biodegradación en aire.

Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	Día 30

Realizado por: Caiza, P. 2021.

(Castellón et al., 2016, p.3) menciona que el proceso de degradación del plástico consta de dos etapas: descomposición y mineralización. La primera etapa está relacionada en gran medida con el deterioro de propiedades físicas como decoloración, fragmentación y fragilidad. El segundo paso es la conversión final de las fracciones de plástico en pequeñas moléculas como agua, CO<sub>2</sub> y biomasa en condiciones aeróbicas.

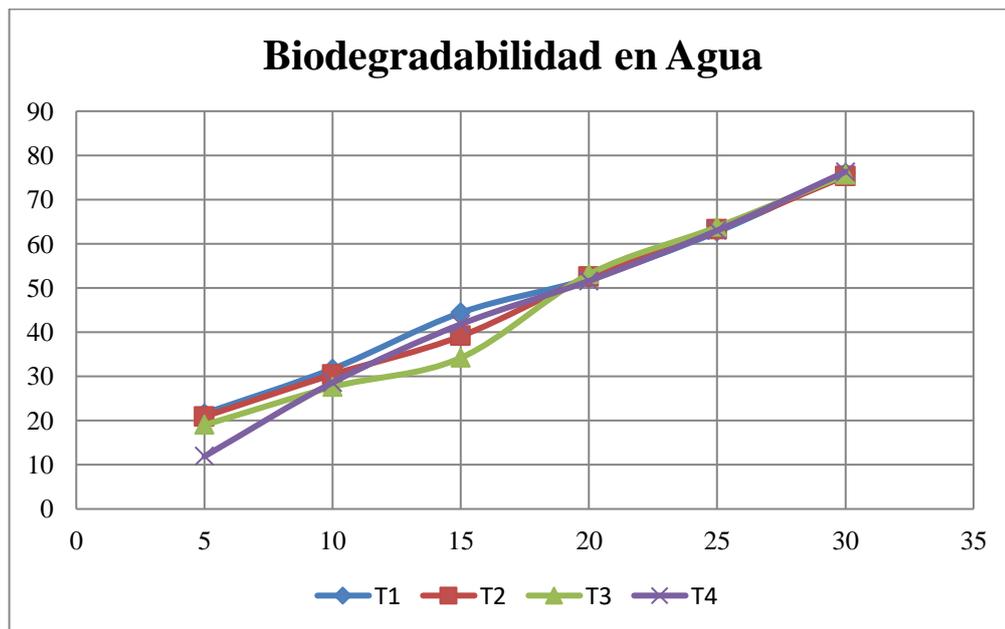
La degradación en el medio ambiente se basa en una combinación de varios mecanismos y factores como la luz solar, la temperatura, la oxidación, el estrés mecánico, la humedad, y la actividad microbiana. (Castellón et al., 2016, p.3).

En el Gráfico 3-3 se puede observar que, entre el T1, T2 y T4 no existe tanta variación en cuanto a la biodegradación en comparación con la curva del T3, la cual si varía un poco en el quinto y décimo día. La biodegradación en aire se tarda un poco más al no existir factores muy dañinos en el medio ambiente como se puede constatar en la Tabla 19-3.

**Tabla 21-3:** Resultados de biodegradabilidad en agua.

N°	BIODEGRADABILIDAD EN AGUA												
	0,00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
<b>T1</b>	9,00	7,06	<b>21,6</b>	6,14	<b>31,7</b>	5,00	<b>44,4</b>	4,31	<b>52,1</b>	3,35	<b>62,7</b>	2,16	<b>76,0</b>
<b>T2</b>	9,00	7,12	<b>20,9</b>	6,27	<b>30,4</b>	5,49	<b>39,1</b>	4,27	<b>52,5</b>	3,31	<b>63,2</b>	2,23	<b>75,3</b>
<b>T3</b>	9,00	7,29	<b>19,0</b>	6,51	<b>27,6</b>	5,92	<b>34,2</b>	4,23	<b>53,1</b>	3,26	<b>63,8</b>	2,20	<b>75,6</b>
<b>T4</b>	9,00	7,93	<b>11,9</b>	6,42	<b>28,6</b>	5,24	<b>41,8</b>	4,36	<b>51,6</b>	3,33	<b>63,0</b>	2,13	<b>76,3</b>

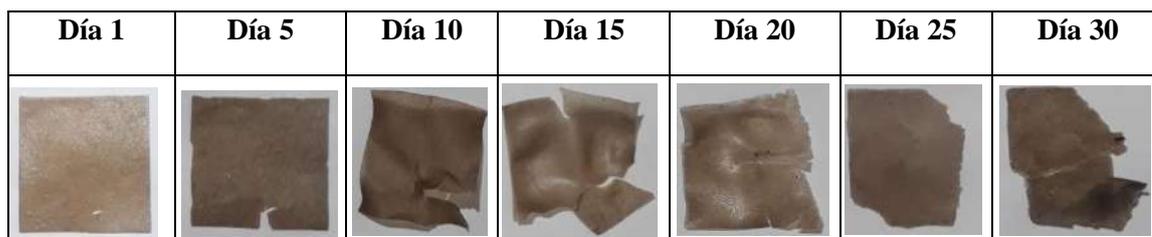
Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 4-3:** Análisis gráfico de biodegradabilidad en agua.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 22-3:** Resultados de la apariencia de la biodegradación en agua.



Realizado por: Caiza, P. 2021.

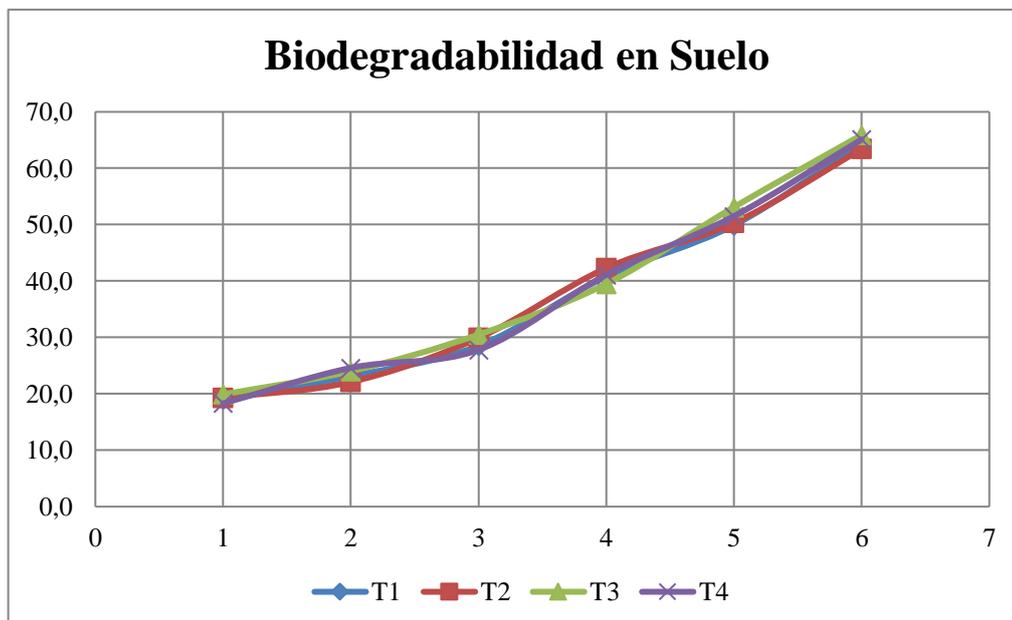
Para realizar el análisis de biodegradabilidad en agua se colocó biopelículas de 3x3 cm en recipientes con agua. Se realizó 4 tratamientos como se puede observar en el Tabla 20-3, con la ayuda del programa Imagej cada 5 días se midió el área de cada biopelícula constatando los resultados en la tabla mencionada teniendo como resultados un porcentaje de biodegradabilidad de 21,6 a 76,3. En el Gráfico 4-3 las curvas de los 4 tratamientos realizados varían un poco desde el quinto día hasta el día 20, mientras que a partir del día 20 hasta el día 30 las curvas se mantienen con valores similares. Esto podría darse debido a la variación de la composición de cada uno de los tratamientos analizados.

La biodegradabilidad en agua hace que las biopelículas se tornen blandas con facilidad a romperse como se comprueba en la Tabla 21-3.

**Tabla 23-3:** Resultados de biodegradabilidad en suelo.

N°	BIODEGRADABILIDAD EN SUELO												
	0,00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
<b>T1</b>	9,00	7,29	<b>19,0</b>	6,92	<b>23,1</b>	6,44	<b>28,5</b>	5,33	<b>40,8</b>	4,51	<b>49,9</b>	3,21	<b>64,3</b>
<b>T2</b>	9,00	7,26	<b>19,3</b>	7,01	<b>22,1</b>	6,31	<b>29,9</b>	5,19	<b>42,3</b>	4,47	<b>50,3</b>	3,29	<b>63,4</b>
<b>T3</b>	9,00	7,21	<b>19,9</b>	6,84	<b>24,0</b>	6,25	<b>30,5</b>	5,44	<b>39,5</b>	4,22	<b>53,1</b>	3,07	<b>65,9</b>
<b>T4</b>	9,00	7,35	<b>18,3</b>	6,78	<b>24,6</b>	6,50	<b>27,8</b>	5,30	<b>41,1</b>	4,36	<b>51,5</b>	3,14	<b>65,1</b>

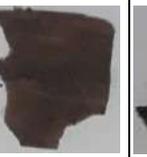
Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 5-3:** Análisis gráfico de biodegradabilidad en suelo.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**Tabla 24-3:** Resultados de la apariencia de la biodegradación en suelo.

Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	Día 30
						

Realizado por: Caiza, P. 2021.

(López et al., 2010, p.140) menciona que para el seguimiento de degradación se observó dos parámetros la pérdida de masa y la morfología. Para un tiempo de tan solo 8 días la degradación del bioplástico fue bastante agresiva, realizaron el ensayo en dos tipos de compost para comprobar en cuál de los dos se degradaba más rápido. La velocidad de degradación de las biopelículas en los diferentes compost se debe a la diferencia de humedad, temperatura, presencia de diversas poblaciones de microorganismos y tipo de tierra. La presencia de microgrietas y/o micro cavidades se originan por efecto de la actividad fúngica de microorganismos.

Con respecto al presente trabajo realizado el análisis varía puesto que para realizar el análisis de biodegradabilidad en suelo se utilizó el área en lugar de los pesos y también la morfología de las biopelículas como se observa en la Tabla 23-3. En el Gráfico 5-3 se puede corroborar que no existe variación entre las curvas de los tratamientos realizados; la biodegradabilidad entre los 4 tratamientos fue muy similar.

De acuerdo con (Castellón et al., 2016, p.3) en condiciones anaerobias los fragmentos del plástico se degradan a pequeñas moléculas como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y biomasa celular.

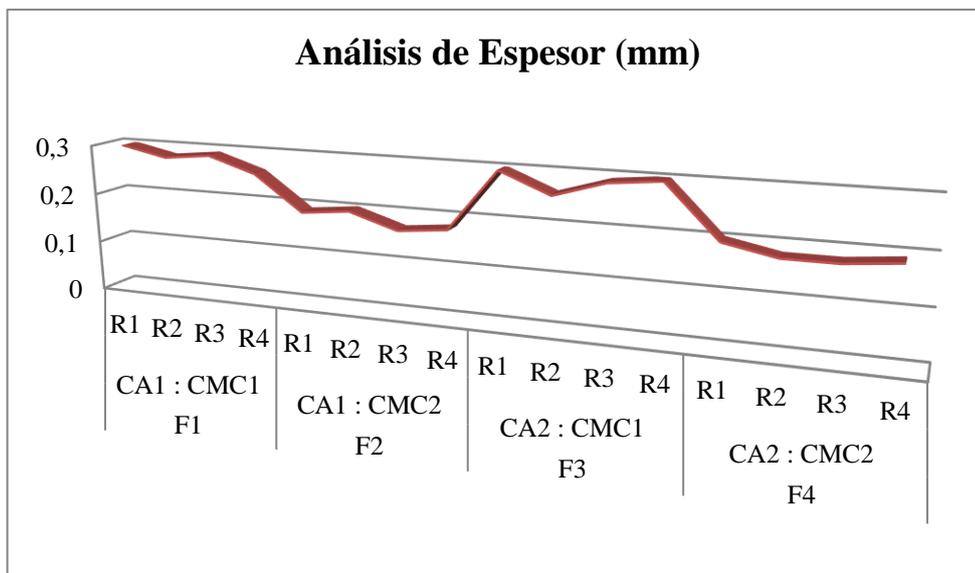
### 3.1.8. Resultados de la caracterización mecánica de las biopelículas

#### 3.1.8.1. Ensayo de Espesor

**Tabla 25-3:** Resultados del ensayo de espesor de las biopelículas.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	
F1	CA1 : CMC1	R1	0,3	0,283
		R2	0,28	
		R3	0,29	
		R4	0,26	
F2	CA1 : CMC2	R1	0,19	0,185
		R2	0,2	
		R3	0,17	
		R4	0,18	
F3	CA2 : CMC1	R1	0,3	0,288
		R2	0,26	
		R3	0,29	
		R4	0,3	
F4	CA2 : CMC2	R1	0,2	0,188
		R2	0,18	
		R3	0,18	
		R4	0,19	

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Gráfico 6-3:** Análisis gráfico del espesor de las biopelículas.

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Como lo menciona (Escobar et al., 2009, pp.33-36) en su investigación determina que las biopelículas deben estar entre  $0,140 \pm 0,010$  mm de espesor. Comparando estos valores con los obtenidos en la Tabla 25-3 no son similares ya que tenemos valores de 0,283; 0,185; 0,288 y 0,188; los cuales sobrepasan el rango establecido en la investigación de películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo. Es muy probable que dichas diferencias entre los valores establecidos y los valores obtenidos se deba a la distinta materia prima y conservadores utilizados en las distintas investigaciones como sorbato de potasio.

El peso se encuentra directamente relacionado con el espesor, se define como el peso de un área en particular; lo cual está principalmente relacionado con la resistencia de los bioplásticos, cuanto mayor es el peso, mayor es la resistencia mecánica (Chariguamán, 2015, p.13).



**Figura 5-3:** Medición de espesor de la biopelícula

Realizado por: Caiza, P. 2021.

### 3.1.8.2. Ensayo de Tracción

**Tabla 26-3:** Resultados del ensayo de tracción de las biopelículas.

TRATAMIENTO	ESFUERZO TENSIÓN (MPa)	MÓDULO TENSIÓN (MPa)	ESFUERZO FLEXIÓN (MPa)	MÓDULO FLEXIÓN (MPa)	ELONGACIÓN (%)
F1	0,87	0,35	1,92	2,17	40,00
F2	1,97	0,90	2,19	4,30	45,71
F3	0,87	0,45	2,46	1,69	51,42
F4	2,30	1,18	2,46	4,47	51,42

Realizado por: Caiza, P. 2021.



**Figura 4-3:** Ensayo de tracción

Realizado por: Caiza, P. 2021.

La resistencia a la tracción es la tensión máxima que puede soportar un material antes de someterse a un estiramiento desde ambos extremos con presencia de velocidad, velocidad y temperatura especificadas (Tantaleán & Abanto, 2019, p.8).

Para probar la resistencia a la tracción de un material, se coloca una probeta estándar a un equipo que la someterá a un esfuerzo axial hasta que la muestra se rompa. Esta prueba mide la capacidad de un material para resistir fuerzas estáticas o de aplicación lenta. En el caso de la resistencia a la tracción, la tensión es la relación entre la carga y la sección transversal inicial, generalmente expresada en pascuales Pa. El aumento de longitud está expresado como porcentaje del largo original. La elongación se refiere al esfuerzo máximo de tracción al que un material puede ser sometido antes de romperse (Tantaleán & Abanto, 2019, p.8).

De acuerdo con (Palma et al., 2017, p.29-30) al añadir plastificantes y proteínas en su investigación mejora las propiedades mecánicas obteniendo como resultado de porcentaje de elongación  $36,92 \pm 1,17$  y esfuerzo de la ruptura es igual a  $2,78 \pm 0,31$  MPa mientras que en la presente investigación se obtuvo un porcentaje de elongación de 51,42 y esfuerzo de tensión igual a 2,30 MPa.

Al aumentar la concentración de carboximetilcelulosa disminuye el porcentaje de elongación e incrementa la resistencia a la tensión como se puede observar en la Tabla 26-3 para la formulación 1 y 2 con un porcentaje de elongación de 40,00 y 45,71 respectivamente, mientras que en la formulación 3 y 4 tiene un porcentaje de elongación de 51,42 con una concentración de 1 mL de carboximetilcelulosa.

Las propiedades mecánicas como la elongación a la rotura, la resistencia a la tracción y la dependen en gran medida de la concentración de plastificante utilizado en la producción de biopelículas. De hecho, el aumento de la concentración de CMC reduce el alargamiento a la rotura y presenta mayor resistencia a la tracción. Esto se debe al aumento de las interacciones moleculares desarrollando una fuerza cohesiva en las biopelículas (Aguilar et al., 2012, p.6).

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

**Tabla 27-3:** Análisis sensorial de la frutilla envuelta con la biopelícula.

<b>Análisis Sensorial de la Frutilla</b>				
	<b>Textura</b>	<b>Sabor</b>	<b>Olor</b>	<b>Aspecto</b>
<b>Frutilla envuelta</b>	Dura	Dulce	Característico	Normal color rojo
<b>Frutilla no envuelta</b>	Blanda	Ácido	No característico	Reseco con presencia de mohos

Realizado por: Caiza, P. 2021.

Para determinar si la biopelícula es factible para utilizarla como envoltura de alimentos se envolvió una frutilla con la biopelícula por una semana mientras otra frutilla pasó a la intemperie y determinamos que la biopelícula si conserva satisfactoriamente el alimento.

En la Tabla 27-3 podemos observar el análisis sensorial de la frutilla envuelta y no envuelta mediante la aplicación de la biopelícula, en la cual se puede observar grandes diferencias entre las características organolépticas presentadas; la frutilla envuelta tenía un aspecto natural, de olor y sabor dulce, es decir se encontro en buen estado, mientras que la frutilla no envuelta presento un estado deplorable ya que sus condiciones no eran satisfactorias, hasta presentaba mohos.

En el Anexo F se corrobora la validez de la biopelícula al relizar el análisis mencionado, en el cual se puede observar varias fotografías del aspecto de las frutillas.

## 3.2. Prueba de Hipótesis

### 3.2.1. *Determinación de la extracción de almidón a partir del pericarpio de maracuyá (passiflora edulis f. flavicarpa) por el método seco y plátano verde (musa paradisiaca) por el método húmedo.*

Mediante el método seco se logró extraer almidón del pericarpio de maracuyá con un rendimiento del 6,711%; empezando con la selección de la materia prima y verificando que se encuentre en óptimas condiciones para después realizar el lavado del maracuyá escogido para eliminar todo tipo de impurezas, continuamos con el despulpado y cortamos la cáscara en trozos pequeños para colocarlos en el secador de bandejas tipo armario a diferentes temperaturas, 60 °C de 7 a 24 horas y posteriormente a 90 °C de 7 a 24 horas para obtener el mejor rendimiento. Se realiza el proceso de molienda varias veces utilizando un molino de tornillo sin fin hasta obtener harina de maracuyá para pasarlo por diferentes tamices empezando por 300, 180, 106 y 53  $\mu$ m para obtener el almidón. Finalmente se almacena en fundas herméticas para su posterior uso.

Se aplicó el diseño experimental  $2^2$  tomando en cuenta dos variables que son el tiempo de secado 7-24 h y la temperatura de secado 60-90 °C. Se realizó 4 tratamientos empleando 200 g de materia prima, para cada tratamiento se realizó 4 repeticiones teniendo en total 16 tratamientos.

Al aplicar el método húmedo se logró extraer almidón de plátano verde con un rendimiento del 28,029%; siguiendo el proceso de selección de la materia prima comprobando que la materia prima se encuentre en buenas condiciones sin golpes, ni manchas. Se realizó el lavado de la materia prima con agua potable, se procedió a pelar el plátano verde para extraer la pulpa y se realizó una reducción de tamaño de 2-3 mm de espesor. Después se realiza el licuado del plátano verde con agua utilizando una licuadora Oster. El procedimiento del licuado se realiza a diferentes velocidades a 45 - 60 s y por cada velocidad se repite 4 veces el licuado. Con ayuda de un cedazo o media nylon se procede a filtrar el licuado. Para eliminar el sobrenadante se realiza el proceso de decantación dejando reposar por 24 horas y de esta manera obtener el almidón que se encuentra en el fondo del recipiente. El almidón se llevó a un proceso de secado a 30°C por 24 horas. Utilizando un mortero se tritura para reducir el tamaño y tener almidón fino, pesar y etiquetar de acuerdo a las repeticiones realizadas y finalmente se almacena el almidón extraído en fundas herméticas.

Se aplicó el diseño factorial  $2^2$  con dos variables para obtener el almidón de plátano verde se tomó en cuenta dos variables que son el tiempo (t) en 45s - 60 s y las revoluciones por minuto (RPM) en velocidad alta 6800 y baja 2000. Se obtuvieron 16 tratamientos en total al realizar 4 tratamientos utilizando 200 g de materia prima y 500 mL de agua, se replicó 4 veces cada tratamiento. Los procesos descritos anteriormente, tanto, para el pericarpio de maracuyá y plátano

verde, de los 4 tratamientos, en el segundo tratamiento se obtuvo un mayor rendimiento de extracción de almidón con respecto a los tres anteriores.

Aceptando la hipótesis debido a que si es posible extraer almidón de pericarpio de maracuyá mediante el método seco y también es posible extraer almidón de plátano verde utilizando el método húmedo.

### ***3.2.2. Evaluación del contenido de amilosa presente en los almidones para la elaboración de biopelículas.***

De acuerdo a las pruebas realizadas en el Instituto INIAP y como se puede observar en la tabla 8-3 y 8-4 el contenido de amilosa del pericarpio de maracuyá fue de 4,73% y de plátano verde fue de 35,45%; el valor restante corresponde al porcentaje de amilopectina. Con los resultados obtenidos podemos elegir el almidón con el mayor porcentaje de amilosa debido a que al momento de adicionar calor la misma comienza a difundirse formando un gel (Meneses et al., 2007). Por lo mencionado anteriormente la hipótesis planteada se aprueba debido a que el contenido de amilosa si influye en la elaboración de biopelículas puesto que el almidón con alto contenido de amilosa forma una película fuerte y es adecuado para la producción de plásticos biodegradables.

### ***3.2.3. Los plastificantes determinan propiedades en las biopelículas obtenidas***

Los plastificantes como el glicerol aumentan el espacio intermolecular al reducir los enlaces de hidrógeno internos al tiempo que evitan el agrietamiento de los bioplásticos durante la manipulación y el almacenamiento (Chariguamán, 2015, p.1).

El glicerol es un plastificante soluble en agua y muy útil agente suavizante para los almidones, gracias a esto mejora la flexibilidad de las películas obtenidas (Enríquez et al., 2012, p.186).

El aumento de la concentración del plastificante mejorará las propiedades mecánicas y la solubilidad en agua de la biopelícula. Asimismo, las propiedades mecánicas como la elongación a la rotura, la resistencia a la tracción y la permeabilidad al vapor de agua dependen en gran medida de la concentración de plastificante utilizado en la producción de biopelículas. De hecho, el aumento de la concentración de CMC reduce el alargamiento a la rotura y disminuye la permeabilidad y presenta mayor resistencia a la tracción. Esto se debe al aumento de las interacciones moleculares desarrollando una fuerza cohesiva en las biopelículas (Aguilar et al., 2012, p.6).

En la formulación de la biopelícula se realizó un ensayo de tracción utilizando el equipo Elastómetro dando como resultados en la formulación 4 un porcentaje de elongación igual a 51,42 y resistencia a la tensión igual a 230, con una fuerza de 6,9 N, con un espesor de 0,188 mm; con los resultados obtenidos la hipótesis se corrobora en la Tabla 25-3, ya que al aumentar 1 mL de

carboximetilcelulosa en la formulación 4 el esfuerzo de tensión es 2,30% comparado a la formulación 1 que dio un resultado de 0,87% añadiendo 1,5 de carboximetilcelulosa; por esta razón disminuye la elongación y la permeabilidad, mientras que en la formulación 4 se incrementa la resistencia a la tensión. Al aumentar la concentración de plastificante dichas propiedades tienen una efectividad favorable en la solubilidad en agua de las biopelículas.

#### ***3.2.4. Validación de la biopelícula en el uso para la conservación de las características organolépticas de los alimentos.***

La biopelícula obtenida a partir del pericarpio de maracuyá y plátano verde conserva al 100% los alimentos; para esto se realizó una muestra comparativa entre una frutilla cubierta por la biopelícula y otra al ambiente con un tiempo estimado de una semana y observación directa; dicho análisis valida la hipótesis ya que muestra resultados favorables hacia la frutilla cubierta por la biopelícula, conservando las características organolépticas de la misma, el análisis sensorial nos arroja una frutilla de calidad, textura dura, sabor y olor dulce, un aspecto natural y atractivo al comprador; mientras que la frutilla no cubierta presentó textura suave, sabor y olor agrio, aspecto reseco y mohos por las condiciones del ambiente.

El uso de la biopelícula beneficia a la industria y disminuye los efectos negativos del plástico convencional, evitando el primer factor perjudicial para la humanidad que es la contaminación ambiental; por lo tanto, la biopelícula es válida para cumplir con las funciones de recubrimiento de los alimentos.

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo la biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*Musa Paradisiaca*); para ello se utilizaron los métodos seco y húmedo en la extracción de los almidones. Se aplicó el diseño factorial  $2^2$ , el cual permitió determinar el mejor rendimiento. Se caracterizaron los almidones extraídos mediante pruebas físico-químicas, proximales y microbiológicas.

El diseño factorial  $2^2$  permitió además formular las biopelículas variando las concentraciones de almidón de pericarpio de maracuyá y carboximetilcelulosa, manteniendo constantes el almidón de plátano verde, aditivos y plastificantes. Las biopelículas elaboradas también fueron caracterizadas para determinar cual tiene mejores propiedades necesarias para el recubrimiento en alimentos.

- Se extrajo el almidón de pericarpio de maracuyá a través del método seco descrito por (Alves, 2013); mientras que el método húmedo descrito por (Dávila, 2014) permitió obtener el almidón de plátano verde. Los porcentajes de almidón obtenidos fueron; 12,911% para el pericarpio de maracuyá y 28,029% para el plátano verde. Los rendimientos de almidón fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA teniendo como resultados que para el maracuyá no existen diferencias significativas entre sus cuatro tratamientos, pero en el plátano verde se evidenció que sí existen tales diferencias, por tal motivo se realizó el análisis de Tukey para determinar que entre el T1-T4 existen las diferencias.
- Se caracterizó los almidones mediante ensayos que permitieron determinar los parámetros físico-químicos, proximales y microbiológicos. Dentro de los cuales tenemos humedad, cenizas, solubilidad, proteína, amilosa, amilopectina, hongos, coliformes totales, levaduras y mohos.

Los valores obtenidos en cada ensayo se encontraron dentro de los rangos de referencia citados por varios autores, mientras que otros valores que no se encontraron dentro de los rangos establecidos puede deberse a factores que incidan en la materia prima.

- Se formuló las biopelículas aplicando el diseño factorial  $2^2$ , dentro del cual se utilizaron dos variables; almidón de pericarpio de maracuyá en rangos de 1-2 g y carboximetilcelulosa en rangos de 1-1,5 ml. De acuerdo al diseño experimental aplicado se generaron 4 formulaciones de las cuales se determinó que la última tuvo mejores resultados.

La cuarta formulación está compuesta por 5 g de plátano verde, 2 g de maracuyá, 6 mL de ácido acético, 100 mL de agua destilada, 2 g de glicerina y 1 mL de carboximetilcelulosa. Sobre esta formulación se hicieron ensayos de tracción dando como resultados 6,9 N (Fuerza), 230 (Resistencia a la tensión) y 51,429% (Elongación).

- Se demostró que la biopelícula mantiene las características organolépticas de la fruta de ensayo (frutilla) por aproximadamente una semana en condiciones normales (intemperie). La frutilla

que estaba sin recubrimiento y también a la intemperie había perdido sus características organolépticas y se redujo su tiempo de vida útil.

Esta aplicación permite determinar que la biopelícula tiene propiedades que contribuyen a la conservación del alimento, siendo viable su utilización.

## RECOMENDACIONES

- Para evitar que el almidón extraído tienda a humedecerse se recomienda almacenarlo en fundas herméticas. Caso contrario el procedimiento para reducir la humedad ganada por mal almacenamiento es hacer un secado en la estufa a una temperatura máxima de 60°C e inmediatamente tamizar.
- Para la elaboración de biopelículas es recomendable utilizar moldes previamente medidos para evitar inconvenientes con la medida del espesor y el tamaño. Se podría realizar moldes de vidrio teniendo su espesor como referencia para la biopelícula.
- Para evitar la ruptura y pérdida de la biopelícula elaborada se recomienda desmoldar con la ayuda de un bisturí, puesto que facilita el desmoldado.
- Con la finalidad de mantener las propiedades de la materia prima (pericarpio de maracuyá) se recomienda la utilización de temperaturas hasta 60°C en el proceso de secado, porque temperaturas mayores podrían afectar directamente en la elaboración de la biopelícula.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, M., SAN MARTÍN, E., ESPINOZA, N., SÁNCHEZ, M., CRUZ, A. & RAMÍREZ, E.** Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Superficies y Vacío* [en línea], 2012. vol. 25, no. 1, pp. 1-7. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/262625529\\_Caracterizacion\\_y\\_aplicacion\\_de\\_películas\\_a\\_base\\_de\\_gelatina-carboximetilcelulosa\\_para\\_la\\_preservacion\\_de\\_frutos\\_de\\_guayaba](https://www.researchgate.net/publication/262625529_Caracterizacion_y_aplicacion_de_películas_a_base_de_gelatina-carboximetilcelulosa_para_la_preservacion_de_frutos_de_guayaba).
- ALVAREZ, H., PIONCE, J., VIERA, W., SOTOMAYOR, A. & CASTRO, J.** DENSIDADES POBLACIONALES Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MARACUYÁ (PASSIFLORA EDULIS SIMS F. FLAVICARPA DEG.). *ECUADOR ES CALIDAD* [en línea], 2018. vol. 5, no. 1. [Consulta: 20 octubre 2021]. ISSN 1390-9223. DOI 10.36331/revista.v5i1.37. Disponible en: <https://revistaecuadorestabilidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestabilidad/index.php/revista/article/view/37/108>.
- ALVES, T.** *Caracterización física y química de bioplásticos elaborados por extrusión termoplástica reforzados con cascara de maracuyá*, 2013. S.l.: Universidad de Río de Janeiro, Brasil.
- ARÉVALO, V., AZUCENA, G. & LAÍNEZ, S.** “Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y Yuca (*Manihot esculenta*) [en línea], 2018. S.l.: Universidad de El Salvador. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15440/1/Formulación\\_y\\_caracterización\\_de\\_una\\_Biopelícula\\_comestible\\_elaborada\\_a\\_partir\\_de\\_Almidón\\_de\\_Sorgo\\_%28Sorghum\\_bicolor\\_%28L.%29\\_Moench%29\\_y\\_Yuca\\_%28Manihot\\_esculenta%29.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15440/1/Formulación_y_caracterización_de_una_Biopelícula_comestible_elaborada_a_partir_de_Almidón_de_Sorgo_%28Sorghum_bicolor_%28L.%29_Moench%29_y_Yuca_%28Manihot_esculenta%29.pdf).
- ARISTIZÁBAL, J. & SÁNCHEZ, T.** Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. [en línea], 2007. Roma: [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.
- ARTEAGA, Y.** Producción de plátano en las utilidades de los productores del sector agrario del cantón Milagro. *ECA Sinergia*, 2014. vol. 5, no. 1, pp. 2. ISSN 2528-7869. DOI 2528-7869.

- BALLESTEROS, L.** LOS BIOPLASTICOS COMO ALTERNATIVA VERDE Y SOSTENIBLE DE LOS PLASTICOS BASADOS EN PETROLEO. [en línea], 2014. Disponible en: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2247/1/Los Bioplásticos\\_Laura Ballestero\\_USBCTG\\_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl%C3%A1sticos_Laura%20Ballestero_USBCTG_2014.pdf).
- BARBA, C.** *Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales* [en línea], 2002. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8503/Fundamentos-5.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- BARRERA, D., MÁRQUEZ, M.A., YEGRES, J.F. & NAVAS, P.C.** Producción de plástico parcialmente degradable con polietileno de alta densidad (PEAD) y la dextrina del desecho de *Solanum tuberosum*. *Química Viva* [en línea], 2021. vol. 12, no. 1, pp. 27-38. [Consulta: 20 octubre 2021]. ISSN 1666-7948. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86326331004.pdf>.
- CAÑIZARES, A. & JARAMILLO, E.** *El cultivo de maracuyá en Ecuador*, 2015. Primera. Machala: s.n. ISBN 9789942240088.
- CARRASCO, L. & MOLOCHO, R.** Extracción De Almidón. [en línea], 2018. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/005193087c8fe3b2314cf>.
- CASTELLÓN, C., TEJEDA, L. & TEJEDA, L.** Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico (Colombia)* 80(1), 2016. vol. 80, no. 1, pp. 24-32.
- CASTELLUCCI, F.** Goma de Celulosa (Carboximetilcelulosa) (CMC), 2009. [en línea]. S.l.: [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.oiv.int/public/medias/1126/oiv-oeno-366-2009-es.pdf>.
- CHARIGUAMÁN, J.** *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)* [en línea], 2015. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>.

**CHUNG, J., MURO, N., ONTANEDA, M., PALAS, S. & RODRÍGUEZ, S.** Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina a base de la cáscara de maracuyá en Quicornac S.A.C. [en línea], 2018. Piura: [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3829/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_HARINAMARACUYA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3829/PYT_Informe_Final_Proyecto_HARINAMARACUYA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**DÁVILA, K.** Harina y Productos de Plátano. *ReCiTela* [en línea], 2007. vol. 7, no. 1, pp. 34. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=lqeiCNgmDK0C&pg=PA8&dq=composicion+química+del+plátano+verde&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwuiq-yhrdnyAhUEsDEKHa4BBKUQ6AEwBHoECAsQAq#v=onepage&q&f=false>.

**DÁVILA, V.F.** Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de investigación Universitaria*, 2014. vol. 3, no. 2, pp. 23-28.

**DLEP DOCUMENTACIÓN LÍMITES EXPOSICIÓN PROFESIONAL.** Documentación Toxicológica para la actualización del límite de exposición profesional del Ácido Acético. [en línea], 2018. España: [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+119+Ácido+acético++Año+2018.pdf/1d5b5a9a-4438-4105-8b77-3e68196f2701>.

**ECOEMBES.** Proyecto de Análisis de Bioplásticos. [en línea], 2009. España: [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/proyecto\\_bioplásticos\\_-\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/proyecto_bioplásticos_-_resumen_ejecutivo.pdf).

**ENRÍQUEZ, M., VELASCO, R. & ORTIZ, V.** COMPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2012. vol. 10, no. 1, pp. 182-192. [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.

**ESCOBAR, D., SALA, A., SILVERA, C. & HARSIFE, R.** Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay* [en línea], 2009. no. 4, pp. 33-36. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/277739102\\_Peliculas\\_biodegradables\\_y\\_comestibles\\_desarrolladas\\_en\\_base\\_a\\_aislado\\_de\\_proteinas\\_de\\_suero\\_lacteo\\_estudio\\_de\\_dos\\_metodos\\_de\\_elaboracion\\_y\\_del\\_uso\\_de\\_sorbato\\_de\\_potasio\\_como\\_conservador](https://www.researchgate.net/publication/277739102_Peliculas_biodegradables_y_comestibles_desarrolladas_en_base_a_aislado_de_proteinas_de_suero_lacteo_estudio_de_dos_metodos_de_elaboracion_y_del_uso_de_sorbato_de_potasio_como_conservador).

**EUROPEAN PLASTICISERS.** Plastificantes. [en línea], 2018. S.l.: [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.plasticisers.org/wp-content/uploads/2019/08/Plasticisers-Factsheet-Spanish.pdf>.

**FLORES, L.** Reciclaje de plástico en rellenos sanitarios de Gobiernos Autónomos. [en línea], 2013. Ibarra: [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3523/2/04\\_MEC\\_02\\_ARTÍCULO\\_CIENTÍFICO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3523/2/04_MEC_02_ARTÍCULO_CIENTÍFICO.pdf).

**GERENCIA REGIONAL AGRARIA LA LIBERTAD.** CULTIVO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). [en línea], 2009. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/15990309/manual-del-cultivo-de-maracuyapdf-gerencia-regional->.

**GUTIÉRREZ, H. & DE LA VARA, R.** *Análisis y diseño de experimentos*, 2008. Segunda. México: s.n. ISBN 9789701065266.

**HARO, J., FONSECA, G. & ZAMORA, P.** Caracterización y Tipificación De La Cadena Agroproductiva Del Cultivo De Maracuyá (*passiflora edulis* L) Pedernales, Manabí, Ecuador/Characterization and Typification of the Agroproductive Chain of Maracuya Cultivation (*passiflora edulis* L) Pedernales, M. *KnE Engineering*, 2020. vol. 2020, pp. 697-716. DOI 10.18502/keg.v5i2.6292.

**HERNÁNDEZ, M., TORRUCO, J., CHEL, L. & BETANCOURT, D.** Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea], 2008. vol. 28, no. 3, pp. 726. [Consulta: 10 marzo 2021]. ISSN 0101-2061. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>.

**HIDALGO, D. & OLMEDO, M.** *Efecto de dos conservantes orgánicos (ácidos cítrico y acético) en las características físico-químicas de las carnes crudas de res y cerdo* [en línea], 2017. Chone: Universidad Laica «Eloy Alfaro» de Manabí. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/1716/1/ULEAM-IAL-0021.pdf>.

- LAFUENTE, G.** «*Glicerol: Síntesis y Aplicaciones*» [en línea], 2017. S.l.: Universidad Nacional de Educación a Distancia Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente\\_Aranda\\_Gustavo\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf).
- LÓPEZ, Á., RIVAS, J., LOAIZA, M. & SABINO, M.** Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L.vannamei*). *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* [en línea], 2010. vol. 25, no. 2, pp. 133-143. [Consulta: 17 diciembre 2020]. ISSN 0798-4065. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652010000200014](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000200014).
- LÓPEZ, G.** *Ventajas y desventajas de los plásticos degradables para su aplicación en la agricultura sustentable ecológica* [en línea], 2021. Saltillo: Centro de Investigación en Química Aplicada. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/371/1/Gorgonio Lopez Tolentino.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/371/1/Gorgonio_Lopez_Tolentino.pdf).
- MARTÍNEZ, P., MÁLAGA, A., BETALLELUZ, I., IBARZ, A. & VELEZMORO, C.** Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2015. vol. 6, no. 4, pp. 291-301. [Consulta: 16 marzo 2021]. DOI [doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06). Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/1038/970>.
- MAZZEO, M., ALZATE, A. & MARÍN, M.** Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón (*Musa AAb Simmonds*). *Vector* [en línea], 2008. vol. 3, pp. 57-69. Disponible en: [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3\\_6.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf).
- MEDINA, C., PAREDES, A., RODRÍGUEZ, M.E., MORENO, M., BELÉN-CAMACHO, D., GARCÍA, D. & OJEDA, C.** Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 2010. vol. 22, no. 1, pp. 67-74. ISSN 13163361.
- MEJÍA, G.** Cultivo de Plátano (*Musa paradisiaca*). [en línea], 2018. El Salvador: [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: [http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia\\_Centa\\_Platano\\_2019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia_Centa_Platano_2019.pdf).

**MELO, V. & CUAMATZI, O.** *Bioquímica de los procesos metabólicos* [en línea], 2019. Tercera. Barcelona: Reverté. [Consulta: 30 enero 2021]. ISBN 9788429195514. Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?id=SarRDwAAQBAJ&pg=PA66&dq=almidon+Bioquímica+de+los+procesos+metabólicos.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjtnqCy\\_\\_vuAhXOwFkKHdQ3C7UQ6AEwAHoECAUQA#v=onepage&q=almidon Bioquímica de los procesos metabólicos.&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=SarRDwAAQBAJ&pg=PA66&dq=almidon+Bioquímica+de+los+procesos+metabólicos.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjtnqCy__vuAhXOwFkKHdQ3C7UQ6AEwAHoECAUQA#v=onepage&q=almidon+Bioquímica+de+los+procesos+metabólicos.&f=false).

**MENESES, J., CORRALES, C. & VALENCIA, M.** SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA* [en línea], 2007. no. 8, pp. 57-67. [Consulta: 18 diciembre 2020]. ISSN 1794-1237. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237024766\\_SINTESIS\\_Y\\_CARACTERIZACION\\_DE\\_UN\\_POLIMERO\\_BIODEGRADABLE\\_A\\_PARTIR\\_DEL\\_ALMIDON\\_DE\\_YUCA](https://www.researchgate.net/publication/237024766_SINTESIS_Y_CARACTERIZACION_DE_UN_POLIMERO_BIODEGRADABLE_A_PARTIR_DEL_ALMIDON_DE_YUCA).

**NÚÑEZ, J.** *Extracción, cuantificación, caracterización fisicoquímica y funcional de fibra dietaria obtenida a partir de residuos de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg)* [en línea], 2014. Quito: Universidad de San Francisco de Quito. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2860/1/109776.pdf>.

**PALMA, H., SALGADO, R., PÁRAMO, D., VARGAS, A. & MEZA, M.** Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal* [en línea], 2017. vol. 27, no. 1, pp. 26-33. [Consulta: 10 marzo 2021]. DOI 10.15174/au.2017.1215. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v27n1/2007-9621-au-27-01-26.pdf>.

**PAZ, R. & PESANTEZ, Z.** Potencialidad del Plátano verde en la nueva matriz productiva del Ecuador. *Revista Científica YACHANA* [en línea], 2013. vol. 2, no. 2, pp. 204-207. [Consulta: 17 diciembre 2020]. ISSN 13907778. Disponible en: <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/47/42>.

**PÉREZ, F., OCHOA, J., APODACA, E. & RONCAL, T.** BIOPLÁSTICOS. *Observatorio Industrial del Sector Químico* [en línea], 2007. no. May 2014, pp. 140. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257652567\\_BIOPLASTICOS](https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS).

**POZO, L.** *Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (Musa paradisiaca) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco* [en línea], 2019. Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/869/1/001> Extracción y caracterización del almidón de plátano.pdf.

**PRO ECUADOR.** Análisis sectorial: Plátano 2015. *Instituto de promoción de exportaciones e inversiones*, 2015. vol. 1, pp. 5-7.

**QUINTERO, K.** *Niveles de Harina de Cáscara de Maracuyá (Passiflora edulis) en Elaboración de yogur natural. Finca Experimental La María, Mocache-Ecuador 2013.* [en línea], 2013. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/320/1/T-UTEQ-0003.pdf>.

**RAMOS, P.** *ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN RESIDUAL OBTENIDO DE PELADORAS DE PAPA Y DETERMINACIÓN DE SU BIODEGRADABILIDAD A NIVEL DE LABORATORIO* [en línea], 2016. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**RIVERA, O., ÁLVAREZ, L. & ESTRADA, N.** IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICO. *Greenpeace México* [en línea], 2020. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/09/12e508ed-estudio\\_impacto\\_contaminacion-plastico.pdf?fbclid=IwAR0IPkF65Gb5G9J2PcNn--ws4NJUhhfscFa28MyXIeQq7uZRaOgB6mdK6b0](https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/09/12e508ed-estudio_impacto_contaminacion-plastico.pdf?fbclid=IwAR0IPkF65Gb5G9J2PcNn--ws4NJUhhfscFa28MyXIeQq7uZRaOgB6mdK6b0).

**RODRÍGUEZ, A.** Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2012. vol. 22, no. 3, pp. 69-72. [Consulta: 17 diciembre 2020]. ISSN 08644497. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328676031\\_Biodegradabilidad\\_de\\_materiales\\_bioplasticos](https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos).

- ROSALES, A.** *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua* [en línea], 2016. Managua: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>.
- RUIZ, G.** *POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA* [en línea], 2005. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT ICIPC. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>.
- SERNA, J.** *El cultivo del maracuyá: Passiflora edulis var. flavicarpa degener* [en línea], 2000. Primera. Bogotá: s.n. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=0GxcswEACAAJ&dq=el+cultivo+del+maracuya&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiSltCvgvzuAhUIU98KHeHiA10Q6AEwAHoECAEQAQ>.
- TANTALEÁN, G. & ABANTO, V.** *Influencia del porcentaje de Carboximetilcelulosa y CaCO<sub>3</sub> en la resistencia mecánica del biopolímero obtenido a base de almidón de cáscara de Musa paradisiaca (plátano)* [en línea], 2019. Trujillo: UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12653/TantaleanJara\\_G - AbantoLeyva\\_V.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12653/TantaleanJara_G - AbantoLeyva_V.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- VALAREZO, A., VALAREZO, O., MENDOZA, A., ÁLVAREZ, H. & VÁSQUEZ, W.** *El Cultivo de Maracuyá: Manual técnico para su manejo en el Litoral Ecuatoriano* [en línea], 2014. Primera. Quito, Ecuador: INIAP. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1159/1/INIAP-Manual Técnico No. 100.pdf](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1159/1/INIAP-Manual_Técnico_No.100.pdf).
- VALERO, M., ORTEGÓN, Y. & USCATEGUI, Y.** Biopolímeros: Avances y perspectivas. *SciELO* [en línea], 2013. vol. 80, pp. 171-180. [Consulta: 17 diciembre 2020]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>.
- VÁSQUEZ, A., ESPINOSA, R., VILLAVICENCIO, M. & VELASCO, M.** 2018. Bioplásticos y plásticos degradables. [en línea]. S.l.: [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://anipac.com/wp-content/uploads/2018/09/bioplásticos.pdf>.

**VELIZ, D.** *Comportamiento agronómico de 22 nuevas poblaciones de maracuyá (Passiflora edulis var.Flavicarpa Degener) en la zona de Quevedo, provincia de Los Ríos* [en línea], 2015. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/21>.

**ZEAPLAST.** Plásticos biodegradables: historia de los bioplásticos. [en línea], 2012. [Consulta: 3 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/historia-de-los-bioplasticos+-20>.

## ANEXOS

### ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE.



**a)**



**b)**



**c)**



**d)**

**a)** Peso de la materia prima

**b)** Licuado

**c)** Filtrado

**d)** Muestras (16 repeticiones)

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**ANEXO B: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PERICARPIO DE MARACUYÁ.**



**a)**



**b)**



**c)**



**d)**

**a)** Materia prima (maracuyá)

**b)** Secador de bandejas tipo armario con maracuyá

**c)** Molienda de materia prima

**d)** Tamizado

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

## ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN EXTRAÍDO.



a)



b)



c)



d)

a) Prueba de cenizas

b) Prueba de viscosidad

c) Prueba de densidad

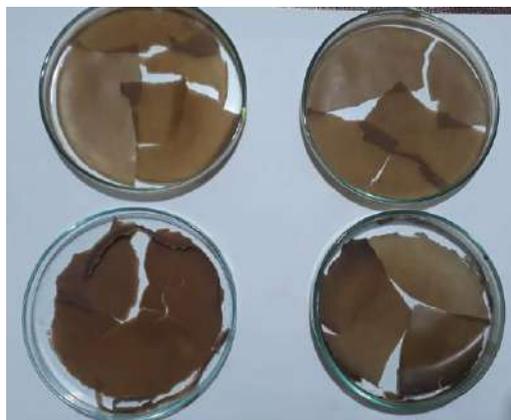
d) Prueba de solubilidad

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**ANEXO D: ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS.**



**a)**



**b)**



**c)**

**a)** Elaboración de biopelícula

**b)** Pruebas fallidas de biopelículas

**c)** Biopelícula sin desmoldar

**Realizado por:** Caiza, P. 2021.

## ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS.



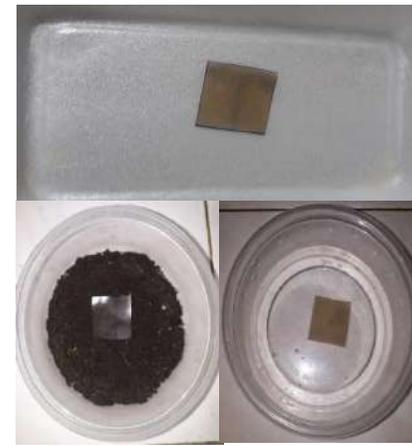
a)



b)



c)



d)

a) Prueba de espesor

b) Prueba de solubilidad

c) Prueba de tracción

d) Prueba de biodegradabilidad en aire, agua y suelo

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**ANEXO F: ANÁLISIS SENSORIAL DE LA FRUTILLA RECUBIERTA.**



**a)**



**b)**



**c)**

- a)** Frutilla recubierta y sin recubrir
- b)** Frutilla recubierta por una semana
- c)** Frutilla sin recubrir una semana

Realizado por: Caiza, P. 2021.

**ANEXO G: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AMILOSA.**

MC-LSAIA-2201-05

	<p><b>INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b>  <b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b>  <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD</b>  <b>LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS</b>                  Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134                  Casilla postal 17-01-340</p>	
---	---	---

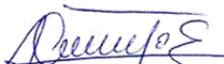
**INFORME DE ENSAYO No: 21-053**

<p><b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Srta. Adriana Pamela Caiza  <b>DIRECCIÓN:</b> Riobamba  <b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 23 de febrero de 2021  <b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> Del 9 al 22 de febrero de 2021</p>	<p><b>INSTITUCIÓN:</b> Particular  <b>ATENCIÓN:</b> Srta. Adriana Pamela Caiza  <b>FECHA DE RECEPCIÓN.:</b> 09/02/2021  <b>HORA DE RECEPCIÓN:</b> 08H25  <b>ANÁLISIS SOLICITADO</b> Amilosa</p>
---	---

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA <sup>Ω</sup>				IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04				
METODO REF.	U. FLORIDA 1970					
UNIDAD	%	%				
21-0292	4,72	4,73				Almidón de pericarpio de maracuyá
21-0293	12,70	35,45				Almidón de plátano verde

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

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

**RESPONSABLES DEL INFORME**



  
**Ing. Bladimir Ortiz**  
**RESPONSABLE CALIDAD**

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

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

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

**ANEXO H: RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PERICARPIO DE MARACUYÁ.**



**RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE ALMIDÓN**

<b>NOMBRE:</b> Adriana Pamela Caiza Ilbay.
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Almidón de pericarpio de maracuyá.
<b>FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA:</b> 2021-01-12
<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b> 2021-01-26

**Examen Físico**

<b>COLOR:</b> Caqui.
<b>OLOR:</b> Inoloro.
<b>ASPECTO:</b> Polvo.

**Examen Microbiológico**

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

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

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO.

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



**ANEXO I: RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE PLÁTANO VERDE.**



**RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE  
ALMIDÓN**

<b>NOMBRE:</b> Adriana Pamela Caiza Ilbay.
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Almidón de plátano verde.
<b>FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA:</b> 2021-01-12
<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b> 2021-01-26

**Examen Físico**

<b>COLOR:</b> Beige.
<b>OLOR:</b> Inoloro.
<b>ASPECTO:</b> Polvo.

**Examen Microbiológico**

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

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

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO.

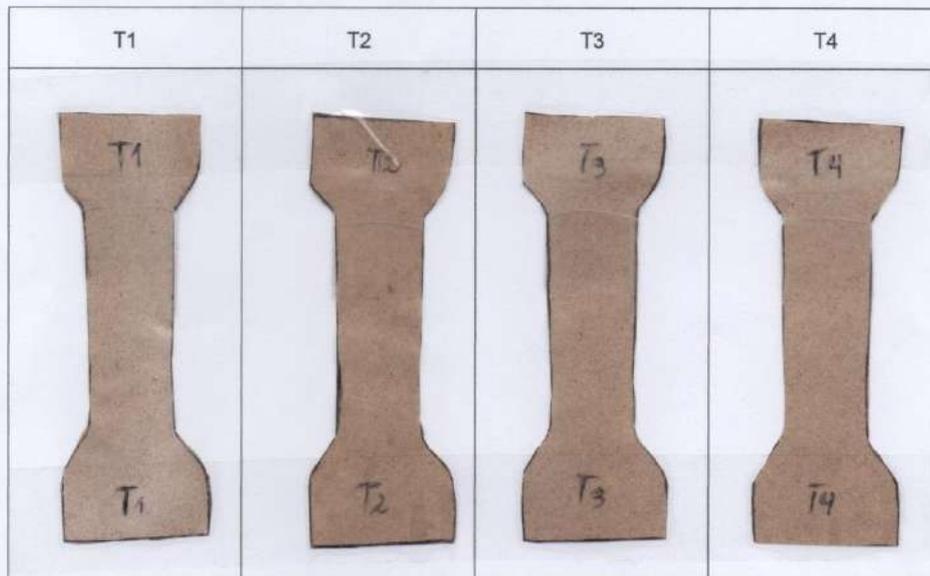
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



**ANEXO J: MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS PARA PRUEBAS DE TRACCIÓN.**



MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE PERICARPIO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) Y PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*)



HOJA TÉCNICA: MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE PERICARPIO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) Y PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*)

(Resistencia a la Tensión y Elongación)

PRUEBA	UNIDAD		RESULTADO OBTENIDO	
Resistencia a la tensión (N/cm <sup>2</sup> )	T1	IUP6	86,667	800 a 1500
	T2		196,667	
	T3		86,667	
	T4		230	
Elongación (%)	T1	IUP6	40,000	40 a 80
	T2		45,714	
	T3		51,429	
	T4		51,429	

Panamericana Sur Km      Teléfono: 593(03)2998350 EXT: 350 Dec., 152  
Mail: [Laboratorio.Irtce@gmail.co](mailto:Laboratorio.Irtce@gmail.co)

**ANEXO K: INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T1.**

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 1
REALIZADO POR	CAIZA ILBAY ADRIANA PAMELA
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL PERICARPIO DE MARACUYÁ ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) Y PLÁTANO VERDE ( <i>Musa paradisiaca</i> ) PARA EL RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	1
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 03
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFÉ CLARO
ESPESOR (mm)	0,3
ANCHURA (mm)	150
LONGITUD INICIAL (mm)	278
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	4,5
CARGA MÁXIMA (N)	3,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	0,87
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	40,00

Aprobado por

ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

**ANEXO L: INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T2.**

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 2
REALIZADO POR	CAIZA ILBAY ADRIANA PAMELA
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL PERICARPIO DE MARACUYÁ ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) Y PLÁTANO VERDE ( <i>Musa paradisiaca</i> ) PARA EL RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	2
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 03
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFÉ CLARO
ESPESOR (mm)	0,2
ANCHURA (mm)	150
LONGITUD INICIAL (mm)	260
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3
CARGA MÁXIMA (N)	5,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	1,97
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	45,74

Aprobado por

*Julio Llerena*

ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

**ANEXO M: INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T3.**

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 3
REALIZADO POR	CAIZA ILBAY ADRIANA PAMELA
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL PERICARPIO DE MARACUYÁ ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) Y PLÁTANO VERDE ( <i>Musa paradisiaca</i> ) PARA EL RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	3
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 03
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFÉ CLARO
ESPESOR (mm)	0,3
ANCHURA (mm)	150
LONGITUD INICIAL (mm)	280
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	4,5
CARGA MÁXIMA (N)	3,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	0,87
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	51,43

Aprobado por



*Julio Llerena*

ING. JULIO LLERENA

TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

**ANEXO N: INFORME DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRACCIÓN T4.**

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 4
REALIZADO POR	CAIZA ILBAY ADRIANA PAMELA
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DEL PERICARPIO DE MARACUYÁ ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) Y PLÁTANO VERDE ( <i>Musa paradisiaca</i> ) PARA EL RECUBRIMIENTO DE ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	4
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 03
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFÉ CLARO
ESPESOR (mm)	0,2
ANCHURA (mm)	150
LONGITUD INICIAL (mm)	277
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	3
CARGA MÁXIMA (N)	6,9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	2,30
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	51,43

Aprobado por

ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES