



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE YUCA AMARILLA (*Manihot esculenta*) Y PEPA DE AGUACATE (*Persea americana*) PARA EL USO EN ALIMENTOS

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

CRISTIAN MAURICIO DÍAZ CUASCOTA

Riobamba-Ecuador

2021



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

**OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE YUCA
AMARILLA (*Manihot esculenta*) Y PEPA DE AGUACATE (*Persea
americana*) PARA EL USO EN ALIMENTOS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CRISTIAN MAURICIO DÍAZ CUASCOTA

DIRECTOR: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS

Riobamba-Ecuador

2021

© 2021, Cristian Mauricio Díaz Cuascota

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, Cristian Mauricio Díaz Cuascota, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 10 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian Díaz Cuascota', is written over two horizontal lines.

Cristian Mauricio Díaz Cuascota
1720642543

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de investigación, **OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE YUCA AMARILLA (*Manihot esculenta*) Y PEPA DE AGUACATE (*Persea americana*) PARA EL USO EN ALIMENTOS**, realizado por el señor: **CRISTIAN MAURICIO DÍAZ CUASCOTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA	FECHA
Ing. Danielita Fernanda Borja Mayorga PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2021-09-10
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	2021-09-10
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos MIEMBRO DEL TRIBUNAL	2021-09-10

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, especialmente a mi querida madre Blanca Cuascota, quien siempre estuvo para mí en todo momento, que nunca me dejó decaer al ser mi fuerza y motor para seguir adelante, que todo lo que he logrado ha sido gracias a ella y me siento muy orgulloso de ser su hijo. A mi papá Julio Díaz por todo su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera. A Carlos Cortez, que siempre me apoyó como un padre y amigo incondicionalmente, a mi hermano Andony y toda mi familia y amigos que me apoyaron a largo de esta etapa de mi vida.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Infinitamente a Dios, por brindarme salud, fuerza y capacidad para cumplir esta meta, de la misma manera, agradezco a mis padres que siempre guiaron mi camino, por medio de sus consejos, valores, enseñanzas, con su ejemplo de trabajo y perseverancia, que permitieron que culmine mis estudios. A mi familia por su apoyo moral que siempre me dio fuerza para seguir adelante. A la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, que por medio de sus docentes forjaron mi crecimiento día a día como profesional.

Cristian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes de la investigación	2
1.2 Marco teórico.....	4
1.2.1 Plástico.....	4
1.2.2 Yuca amarilla	5
1.2.2.1 Clasificación botánica.....	5
1.2.2.2 Descripción morfológica	5
1.2.2.3 Análisis proximal de diferentes variedades de yuca	6
1.2.2.4 Composición nutricional	6
1.2.3 Aguacate	7
1.2.3.1 Descripción morfológica	7
1.2.3.2 Clasificación botánica.....	7
1.2.3.3 Composición nutricional	7
1.2.3 Semilla de aguacate.....	8
1.2.3.1 Análisis proximal de semilla de aguacate en base seca.....	9
1.2.4 Almidón	9
1.2.4.1 Propiedades del almidón.....	9

1.2.4.2	<i>Propiedades fisicoquímicas del almidón</i>	10
1.2.4.3	<i>Propiedades funcionales del almidón</i>	10
1.2.5	<i>Amilosa</i>	10
1.2.6	<i>Amilopectina</i>	11
1.2.7	<i>Plastificante</i>	11
1.2.7.1	<i>Glicerol</i>	11
1.2.8	<i>Conservantes</i>	11
1.2.8.1	<i>Ácido acético</i>	11
1.2.9	<i>Procesos de extracción de almidón</i>	12
1.2.9.1	<i>Hidrólisis</i>	12
1.2.9.2	<i>Trituración</i>	12
1.2.9.3	<i>Filtración</i>	12
1.2.9.4	<i>Sedimentación</i>	12
1.2.9.5	<i>Decantación</i>	12
1.2.9.6	<i>Secado</i>	13
1.2.9.7	<i>Tamizado</i>	13
1.2.10	<i>Biopolímeros</i>	13
1.2.10.1	<i>Biopolímeros extraídos de la biomasa</i>	14
1.2.11	<i>Mecanismos de formación, propiedades físicas de las biopelículas</i>	14
1.2.11.1	<i>Humedad y solubilidad en agua</i>	15
1.2.11.2	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	15
1.2.11.3	<i>Resistencia a la elongación, tensión y al rompimiento</i>	15
1.2.11.4	<i>Biodegradabilidad</i>	15
1.2.12	<i>Diseño factorial 2^k</i>	16

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	17
2.1	Objetivos de la investigación	17
2.1.1	<i>General</i>	17

2.1.2	<i>Específicos</i>	17
2.2	Hipótesis y especificación de variables	17
2.2.1	<i>Hipótesis General</i>	17
2.2.2	<i>Hipótesis Específicas</i>	17
2.2.3	<i>Identificación de Variables</i>	18
2.4	Operacionalización de Variables	19
2.2.5	<i>Matriz de Consistencia</i>	20
2.3	Tipo y Diseño de Investigación	22
2.3.1	<i>Tipo de Investigación</i>	22
2.3.2	<i>Diseño de la Investigación</i>	22
2.3.2.1	<i>Diseño experimental factorial 2^k</i>	23
2.4	Unidad de Análisis	25
2.5	Población de Estudio	25
2.6	Tamaño de Muestra	25
2.7	Selección de muestra	25
2.8	Técnicas de Recolección de Datos	25
2.8.1	<i>Extracción de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate</i>	25
2.8.1.1	<i>Materiales, equipos, sustancias y reactivos</i>	25
2.8.1.2	<i>Procedimiento de extracción de almidón</i>	26
2.8.2	<i>Análisis físico-químico del almidón</i>	27
2.8.2.1	<i>Humedad</i>	27
2.8.2.2	<i>Ceniza</i>	27
2.8.2.3	<i>Solubilidad</i>	28
2.8.2.4	<i>Medida de pH</i>	29
2.8.2.5	<i>Viscosidad</i>	30
2.8.2.6	<i>Temperatura de gelatinización</i>	30
2.8.2.7	<i>Proteína</i>	31
2.8.2.8	<i>Fibra</i>	32
2.8.2.9	<i>Análisis microbiológico</i>	33

2.8.2.10	<i>Análisis de amilosa</i>	33
2.8.3	Obtención y análisis de biopelículas	33
2.8.3.1	<i>Formulación y elaboración de biopelículas</i>	33
2.8.3.2	<i>Prueba de humedad</i>	34
2.8.3.3	<i>Solubilidad en agua</i>	34
2.8.3.4	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	35
2.8.3.5	<i>Espesor</i>	36
2.8.3.6	<i>Pruebas físicas</i>	36
2.8.3.7	<i>Biodegradabilidad</i>	36

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
3.1	Resultados	37
3.1.1	<i>Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón aplicando el método factorial 2²</i>	37
3.1.2	<i>Resultados de análisis físico-químico, análisis proximal y microbiológico de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate</i>	42
3.1.2.1	<i>Contenido de humedad</i>	43
3.1.2.2	<i>Ceniza</i>	44
3.1.2.3	<i>Solubilidad</i>	45
3.1.2.4	<i>pH, viscosidad y temperatura de gelatinización</i>	46
3.1.2.5	<i>Contenido de fibra, proteína y amilosa</i>	47
3.1.2.6	<i>Análisis microbiológico</i>	48
3.1.3	Formulación de biopelículas	49
3.1.4	Elaboración de biopelículas bajo el diseño experimental 2^k	50
3.1.5	Análisis físico de las biopelículas	53
3.1.5.1	<i>Contenido de humedad</i>	53
3.1.5.2	<i>Solubilidad en agua</i>	55
3.1.5.3	<i>Espesor</i>	57
3.1.5.4	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	59

3.1.5.5	<i>Biodegradabilidad.....</i>	61
3.1.5.6	<i>Pruebas de tracción.....</i>	66
3.1.5.7	<i>Aplicación de biopelícula en un alimento.....</i>	69
3.2	Pruebas de Hipótesis	70
3.2.1	<i>Determinación de las características de los almidones extraídos para su aplicación en los alimentos.....</i>	70
3.2.2	<i>Determinación de la variación rendimiento del almidón mediante el método de extracción, evaluación de las propiedades de amilosa y amilopectina de los almidones para la elaboración de la biopelícula, formulación de biopelículas a partir del diseño 2^k, conservación de las propiedades de los alimentos con el uso de la biopelícula.....</i>	70
3.2.2.1	<i>Determinación de la variación rendimiento del almidón mediante el método de extracción.....</i>	71
3.2.2.2	<i>Evaluación de las propiedades de amilosa y amilopectina de los almidones para la elaboración de la biopelícula.....</i>	71
3.2.2.3	<i>Formulación de biopelículas a partir del diseño 2^k.....</i>	71
3.2.2.4	<i>Conservación de las propiedades de los alimentos con el uso de la biopelícula.</i>	72
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación botánica de la yuca.....	5
Tabla 2-1: Análisis proximal de diferentes variedades de yuca.....	6
Tabla 3-1: Composición nutricional de la yuca	6
Tabla 4-1: Clasificación botánica del aguacate	7
Tabla 5-1: Composición nutricional del aguacate	7
Tabla 6-1: Análisis proximal de semilla de aguacate en base seca	9
Tabla 1-2: Identificación de las variables de extracción de almidón	18
Tabla 2-2: Identificación de las variables de las biopelículas.....	18
Tabla 3-2: Operacionalización de las variables que intervienen en el proceso extracción de almidón	19
Tabla 4-2: Operacionalización de variables que intervienen en el proceso de elaboración de la biopelícula.....	19
Tabla 5-2: Matriz de consistencia	20
Tabla 1-3: Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón de yuca amarilla aplicando el método factorial 2^k	38
Tabla 2-3: Análisis de varianza en los rendimientos de extracción de almidón de yuca amarilla.....	39
Tabla 3-3: Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón de pepa de aguacate aplicando el método factorial 2^k	40
Tabla 4-3: Análisis de varianza de resultados de extracción de almidón de aguacate	41
Tabla 5-3: Análisis de resultados mediante el test de TUKEY para la extracción de almidón de pepa de aguacate	41
Tabla 6-3: Resultado de contenido de humedad en el almidón de yuca amarilla.....	43
Tabla 7-3: Resultado de contenido de humedad en el almidón de pepa de aguacate	43
Tabla 8-3: Resultados de contenido de cenizas en el almidón de yuca amarilla.....	44
Tabla 9-3: Resultados de contenido de cenizas en el almidón de pepa de aguacate	44
Tabla 10-3: Resultados de solubilidad en el almidón de yuca amarilla	45
Tabla 11-3: Resultados de solubilidad en el almidón de pepa de aguacate.....	45

Tabla 12-3: Resultados de pH, viscosidad y temperatura de gelatinización para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate	46
Tabla 13-3: Porcentaje de fibra, proteína y amilosa en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate	47
Tabla 14-3: Análisis microbiológico en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate	48
Tabla 15-3: Resultados obtenidos en la formulación de biopelículas	49
Tabla 16-3: Resultado de elaboración de biopelículas por el diseño experimental 2 ^k	52
Tabla 17-3: Análisis de varianza para el espesor obtenido en la elaboración de biopelículas ...	53
Tabla 18-3: Contenido de humedad en los cuatro tratamientos	53
Tabla 19-3: Solubilidad de las biopelículas de cada tratamiento	55
Tabla 20-3: Espesor de biopelículas para cada tratamiento	57
Tabla 21-3: Pesos en gramos de ensayos de permeabilidad de vapor.....	59
Tabla 22-3: Porcentaje de la permeabilidad obtenida en cada muestra de los diferentes tratamientos.....	60
Tabla 23-3: Resultados de biodegradabilidad en agua	61
Tabla 24-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad en agua.....	62
Tabla 25-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad en agua	63
Tabla 26-3: Resultados de biodegradabilidad al ambiente	63
Tabla 27-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad al ambiente.....	63
Tabla 28-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad al ambiente	64
Tabla 29-3: Resultados de biodegradabilidad en la tierra.....	64
Tabla 30-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad en tierra	65
Tabla 31-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad en tierra	66
Tabla 32-3: Resultados de prueba de tracción para muestra de biopelícula por tratamiento.....	66
Tabla 33-3: Análisis sensorial de la claudia tras ser recubierta con la biopelícula de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate.	70
Tabla 34-3: Resultados de apariencia de la fruta luego de una semana	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Uso del suelo para la producción de bioplásticos.....	4
Figura 2-1. Yuca amarilla	5
Figura 3-1. Pepa de aguacate.....	9
Figura 4-1. Estructura de amilosa.....	10
Figura 5-1. Estructura de amilopectina	11

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Clasificación de los biopolímeros	14
Gráfico 2-3: Diagrama de flujo de proceso de extracción de almidón de la yuca amarilla y pepa de aguacate.....	23
Gráfico 3-3: Diagrama de flujo de proceso de obtención de biopelícula	24
Gráfico 4-3: Análisis gráfico de comportamiento del contenido de humedad en cada biopelícula por tratamiento	55
Gráfico 5-3: Análisis gráfico de comportamiento de la solubilidad en cada biopelícula por tratamiento	57
Gráfico 6-3: Análisis gráfico de comportamiento del espesor en cada biopelícula por tratamiento	58
Gráfico 7-3: Análisis gráfico de comportamiento de la permeabilidad al vapor en cada biopelícula por tratamiento	60
Gráfico 8-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad en agua en cada biopelícula por tratamiento.....	62
Gráfico 9-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad al ambiente en cada biopelícula por tratamiento.....	64
Gráfico 10-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad en tierra en cada biopelícula por tratamiento.....	65
Gráfico 11-3: Análisis gráfico del comportamiento del esfuerzo de tensión con respecto al espesor.	67
Gráfico 12-3: Análisis gráfico del comportamiento del módulo de flexión con respecto al espesor.	68
Gráfico 13-3: Análisis gráfico del comportamiento de la elongación con respecto al espesor. .	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Extracción de almidón de yuca amarilla

ANEXO B: Extracción de almidón de yuca amarilla

ANEXO C: Extracción de almidón de pepa de aguacate

ANEXO D: Extracción de almidón de pepa de aguacate

ANEXO E: Caracterización fisicoquímica del almidón de yuca amarilla

ANEXO F: Caracterización fisicoquímica del almidón de yuca amarilla

ANEXO G: Caracterización fisicoquímica del almidón de pepa de aguacate

ANEXO H: Caracterización fisicoquímica del almidón de pepa de aguacate

ANEXO I: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas

ANEXO J: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas

ANEXO K: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas

ANEXO L: Análisis microbiológico de almidón de yuca amarilla

ANEXO M: Análisis microbiológico de almidón de pepa de aguacate

ANEXO N: Informe de pruebas de tracción

ANEXO O: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 1

ANEXO P: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 2

ANEXO Q: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 3

ANEXO R: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 4

ANEXO S: Resultados de prueba de amilosa y humedad

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal: obtener una biopelícula a partir de almidón de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y pepa de aguacate (*Persea americana*) para el uso en alimentos. Se inició con la extracción de los almidones por vía húmeda, mediante el diseño factorial 2^k , que consistió en realizar 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, con la variación de la velocidad (baja-alta) y tiempo de trituración (30-60 segundos) para evaluar el rendimiento obtenido en cada uno. Posteriormente, se determinó sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, tales como: humedad, ceniza, solubilidad, pH, viscosidad, fibra, proteína, temperatura de gelatinización, contenido de amilosa, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras, para determinar la calidad de almidón extraído. Luego, en la formulación de las biopelículas se varió la cantidad de almidón de aguacate y glicerina entre 0.20-0.25g y 0.75-1ml respectivamente, mientras que, las cantidades de almidón de yuca amarilla, ácido acético y agua destilada permanecieron constantes. Las biopelículas fueron evaluadas mediante pruebas de: humedad, solubilidad, espesor, permeabilidad al vapor de agua, biodegradabilidad, tracción y aplicación en un alimento, con el fin de determinar la biopelícula con mejor efectividad en la conservación de los alimentos. Finalmente, se aplicó el análisis de varianza mediante la herramienta Excel, para concluir que tratamiento fue el más adecuado para la extracción y formulación de las biopelículas, que en este caso en el almidón de yuca amarilla fue el tratamiento 2, mientras que en el almidón de pepa de aguacate el tratamiento 3 mostró un mayor rendimiento. Por otro lado, la biopelícula con mejores características fue la del tratamiento 4 al poseer propiedades similares a las obtenidas por otros autores, demostrando su eficacia al ser aplicada en la conservación de los alimentos.

Palabras clave: <BIOPELÍCULA>, <YUCA AMARILLA>, <PEPA DE AGUACATE>, <EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN>, <ANÁLISIS FISICOQUÍMICO>



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1211-DBRA-UPT-2021

2021-06-10

ABSTRACT

The aim of the present research work was to obtain a biofilm from yellow cassava starch (*Manihot esculenta*) and avocado pit (*Persea americana*) to be used in food. It began with the extraction of starches by using the wet method and applying the factorial design 2^k, which consisted in performing 4 treatments with 4 repetitions each, with the variation of the speed (low-high) and milling time (30-60 seconds) to evaluate the yield obtained in each one. Later, its physicochemical and microbiological properties were determined, such as: moisture, ash, solubility, pH, viscosity, fiber, protein, gelatinization temperature, amylose content, total coliforms, fecal coliforms, molds and yeasts, to determine the quality of the extracted starch. Then in the formulation of the biofilms, the amount of avocado starch and glycerin was modified between 0.20-0.25g and 0.75-1ml respectively, while the amounts of yellow cassava starch, acetic acid and distilled water remained constant. The biofilms were evaluated by testing humidity, solubility, thickness, permeability to water vapor, biodegradability, traction and application in a food product in order to determine the biofilm with a better effectiveness in food preservation. Finally, the analysis of variance was applied using Excel, to determine which treatment was the most suitable for the extraction and formulation of biofilms which, in the case of starch from yellow cassava, was treatment 2, while in avocado seed starch, treatment 3 showed higher yield. On the other hand, the biofilm with the best characteristics was that of treatment 4 since it possesses properties similar to those obtained by other authors, demonstrating its effective food preservation when applied.

Keywords: <BIOFILM> <YELLOW CASSAVA (*Manihot esculenta*)> <AVOCADO (*Persea americana*)> <STARCH EXTRACTION> <PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS>.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos sintéticos han sido de gran ayuda para el ser humano en la conservación de alimentos, debido a sus bajos costos de producción y múltiples usos, al permitir mejorar la calidad de vida ya que aportan un gran desarrollo económico por medio de su comercialización. No obstante, el uso excesivo de estos materiales y la dependencia que ha generado de estos el ser humano, ha provocado una gran problemática: el impacto ambiental, debido a que es un derivado del petróleo, por lo que el tiempo de remoción y degradabilidad son muy extensos y su disposición final en la mayoría de los casos termina en el mar.

En el año 2018, alrededor de 1.13 billones de envoltorios de material plástico se utilizaron para bebidas y alimentos en la Unión Europea. Estos envoltorios y envases no resultan ser el único problema ya que en el campo agrícola cada año se usan aproximadamente 6.5 millones de toneladas de plástico a nivel mundial (Heinrich-Böll-Stiftung, 2019, p.19).

En la actualidad, se busca la manera de disminuir el impacto ambiental causado por los plásticos sintéticos, por medio de materiales biodegradables que ofrezcan propiedades similares y que sus costos de producción sean viables a través del aprovechamiento de recursos naturales renovables. Por tal razón, los biopolímeros basados en el almidón se postulan como una gran alternativa para contrarrestar este problema, ya que su bajo costo y su origen a partir de recursos agrícolas lo vuelven muy atractivo para el uso en nuevas tecnologías del sector industrial.

La industria alimenticia tiene gran interés en la producción de biopelículas debido a su gran utilidad en la conservación e incremento de la vida útil de los alimentos. Estas biopelículas pueden contener en su formulación, sustancias que brinden mejores características para su propósito de elaboración, de manera que sus propiedades sean adecuadas.

Existen varios estudios preliminares en la obtención y utilización de las biopelículas, este estudio viene a partir del año 2010 y en la actualidad apenas ha aumentado de un 20 a 25%. Con el presente trabajo de investigación se obtendrá almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, utilizando diferentes procesos como son: trituración, sedimentación, decantación, secado, molienda y tamizado, para posteriormente incorporar plastificantes y aditivos que contribuyan a la obtención de la biopelícula para el uso en alimentos, la que se utilizará para preservar sus propiedades organolépticas, disminuir el crecimiento de hongos, levaduras y mantener la apariencia física del alimento.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la investigación

La fabricación de polímeros derivados del petróleo ha sido considerada como un gran avance en el siglo XX, debido a sus múltiples probabilidades de uso tanto en la industria como en la vida diaria. Estos polímeros son elaborados en mayor parte mediante el petróleo, y son creados para diversas funciones (Valero et al., 2013, p.171).

Estos plásticos tienen gran demanda debido a que su costo es bajo, son resistentes a la corrosión, livianos, inalterables a los agentes atmosféricos, usados en recubrimiento de alimentos, aislantes en conexiones eléctricas, pudiendo sustituir al metal o la madera. Sin embargo, estas ventajas pueden ser grandes inconvenientes a la hora de su degradación, ya que su alta resistencia a diferentes ambientes los convierte en residuos difíciles de eliminar, por lo que causan un grave problema ambiental (Valero et al., 2013, p. 171).

En 2015 se produjo cerca de 381 millones de toneladas de plástico, de las cuales, 80 millones terminaron en el mar. En total, aproximadamente 8300 millones de toneladas de plástico fueron producidas desde 1950, de las cuales 6300 millones terminaron siendo desechadas (Samaniego, 2019, p.1).

En Ecuador, el 80% de hogares en el país utiliza fundas plásticas para comprar sus alimentos, y a diario cada persona usa al menos dos elementos plásticos desechables. Por tal razón, la generación de 528000 toneladas de desechos plásticos equivale al 11% de los desechos sólidos en el 2019 (Naranjo, 2019).

Debido a la alta demanda de este material y su uso continuo, ha traído como consecuencia la generación de una gran cantidad de desechos, pues su procedencia como derivado del petróleo ocasiona emisiones de gases contaminantes, efecto invernadero y una gran alteración al ecosistema. Por tal razón, los estudios en la búsqueda de nuevas tecnologías se han direccionado al uso de los biopolímeros para la elaboración de biopelículas con el fin de reducir el consumo de material contaminante.

Una alternativa propuesta se relaciona con la utilización de almidones termoplásticos como materia prima que compita con los polímeros sintéticos. Estudios recientes han reportado que es posible obtener biopolímeros a partir del fruto de la palma del melocotón, de la yuca, desechos

de comida reciclada, así como de proteína de canola para el procesamiento de empaques para alimentos (Riera y Palma, 2018, p.70).

En la historia, los principales biopolímeros que se utilizaron en la industria provenían de fuentes naturales. En 1930 varios objetos de utilidad diaria se elaboraron a partir de polímeros de procedencia biológica, para los cuales se utilizaba el caucho natural que fue descubierto en el siglo XVII, la celulosa o el celofán al final de siglo XIX e inicio del siglo XX o componentes de procedencia láctea como la caseína para la obtención de la Galatita en el año 1897 (Natureplast, 2019).

En 1947 el Rilsan (o Poliamida 11) fue el primer bioplástico introducido al mercado, debido a sus excelentes propiedades químicas y mecánicas. A inicios de los años 90 se produjeron los bioplásticos conocidos como el PLA, los PHAs y los almidones plastificados, utilizados para los avances de la química verde y la química blanca para el uso de la biomasa (almidón, azúcares, celulosa, etc.) (Natureplast, 2019).

En la última década, los estudios centrados en la elaboración de biopelículas han cobrado mayor fuerza, debido a la búsqueda de alternativas ecológicas que ayuden a disminuir la contaminación ambiental, causada por el uso excesivo de polímeros derivados del petróleo. Estos estudios han arrojado como resultado nuevas alternativas y métodos para aprovechar los recursos naturales renovables disponibles, que pueden sustituir a los plásticos sintéticos convencionales empleados en los alimentos que tengan una mejor degradación.

Debido al tamaño molecular de los polímeros y a su falta de solubilidad en agua, los microorganismos no son capaces de transportar el material polimérico a sus células donde la mayoría de procesos bioquímicos tienen lugar, por lo que inicialmente excretan enzimas extracelulares que despolimerizan el material fuera de las células (Valero et al., 2013, p.172).

A nivel industrial la fabricación de bioplásticos representa aproximadamente el 1 % de los casi 320 millones de toneladas de plástico que se elaboran cada año. La cantidad de fabricación mundial de bioplásticos sobrepasó las 2,05 millones de toneladas en el 2017 y se espera hasta cerca de los 2,44 millones de toneladas en 2022. En el 2017 Asia presentó un 56 % de la producción de bioplástico, Europa un 18 %, Norteamérica un 16 % y Suramérica un 10 % (Riera y Palma, 2018, p.70).

En Suramérica, la fabricación de bioplásticos se encuentra presente en países como Colombia, Chile, Brasil y Argentina. Particularmente en Ecuador no se registran empresas destinadas a la

fabricación de bioplásticos, sin embargo, se encuentran investigaciones realizadas para su obtención a partir de fuentes naturales como el almidón de yuca, papa, oca, banana, achira, entre otras, que son productos cultivados en el país (Riera y Palma, 2018, p.70).

En la actualidad, la sustitución de plásticos sintéticos por los biodegradables para la elaboración de biopelículas no se ha logrado totalmente, sin embargo, algunos polímeros sintéticos han sido sustituidos por los naturales, debido a que cumplen con las normas científicas reconocidas para su degradabilidad. La mayoría de estos polímeros biológicos provienen de recursos renovables, aunque la proporción atribuida del suelo para la producción de bioplásticos sigue siendo minoritaria, tal como podemos observar a continuación, datos estadísticos realizados en el año 2013 y 2018 (Natureplast, 2019).

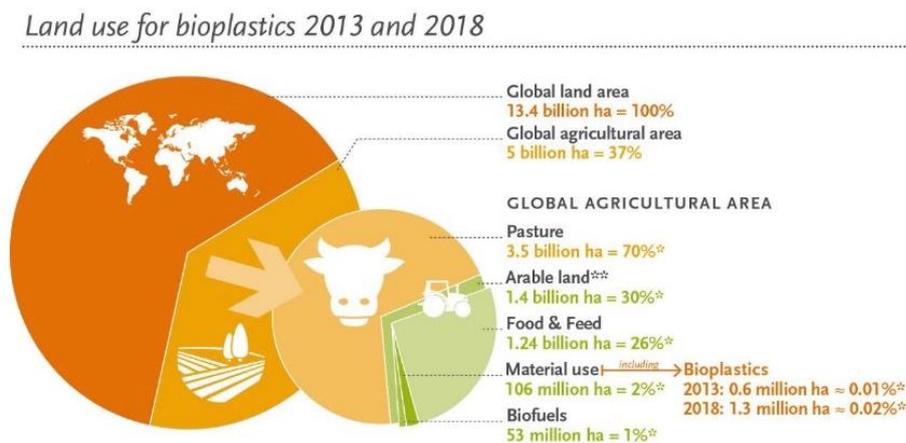


Figura 1-1: Uso del suelo para la producción de bioplásticos

Fuente: (Natureplast, 2019).

1.2 Marco teórico

1.2.1 Plástico

Es un material polimérico que tiene la capacidad de ser moldeado, mediante la aplicación de calor y presión. Esta propiedad se denomina plasticidad, la cual se encuentra combinada con otras propiedades como baja densidad, conductividad, transparencia y dureza, que permite que los plásticos puedan convertirse en diferentes productos. Estos incluyen botellas de bebidas resistentes y livianas hechas de tereftalato de polietileno (PET), mangueras flexibles fabricadas a base de cloruro de polivinilo (PVC), envases aislantes para productos alimenticios fabricados con poliestireno espumado y ventanas inastillables elaboradas por medio de metacrilato de polimetilo (Rodríguez, 2020).

1.2.2 Yuca amarilla

La Yuca (*Manihot esculenta*) es un tubérculo rico en almidón que se convirtió en un alimento esencial para las culturas prehispánicas del continente americano. Es una planta perenne y leñosa de la familia de las Euforbiáceas, pertenecientes al género *Manihot*. Gran productora de carbohidratos, tolerante a las plagas y sequía, se cultiva desde una altura cercana al nivel del mar, hasta los 1620 metros de altitud (Muñoz et al., 2017, p.6).

Es originaria del cantón Putumayo, provincia de Sucumbíos, Ecuador, en las comunidades se la siembra en las chacras (huertos o plantaciones) para abastecerse durante todo el año, pero ese proceso de cultivo se practica con rituales para una mejor producción (El Diario, 2017).



Figura 2-1: Yuca amarilla

Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.2.1 Clasificación botánica

Tabla 1-1: Clasificación botánica de la yuca

No.	CARACTERÍSTICAS	
1	REINO	Plantae
2	DIVISIÓN	Spermatophyta
3	CLASE	Dicotiledoneae
4	ORDEN	Euphorbiales
5	FAMILIA	Euforbiaceae
6	GÉNERO	<i>Manihot</i>
7	ESPECIE	<i>Esculenta</i>

Fuente: (Suárez y Mederos, 2011, p.27).

Realizado por: Díaz, C. 2021

1.2.2.2 Descripción morfológica

Esta planta que presenta tallos leñosos los cuales pueden medir de 1.5 a 4 metros de altura. Sus hojas se caracterizan por tener 4 a 10 lóbulos, con pecíolos de color verde, rojo o púrpura. Sus raíces son robustas para el almacenaje de los carbohidratos (almidón), esta parte son aprovechables ya que poseen un tamaño cercano a 1m, con un peso de 1-8 kg. Su forma es

cilíndrica o cónicas de tendencia irregular y su pulpa es de color amarillo (Aguilar et al., 2017, p.9).

1.2.2.3 Análisis proximal de diferentes variedades de yuca

Tabla 2-1: Análisis proximal de diferentes variedades de yuca

Variedad	Brix	pH	Humedad (%)
Yuca amarilla	6	5.83	67.2
Yuca Valencia	6.2	7.76	65.6
Yuca Los Lirios	7	5.78	66.6
Yuca blanca	6.1	6.02	59.2

Fuente: (Aguilar et al., 2017, p. 61).

Realizado por: Díaz, Cristian, 2021.

1.2.2.4 Composición nutricional

Tabla 3-1: Composición nutricional de la yuca

YUCA AMARILLA			
Composición por cada 100 g de parte comestible			
No.	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
1	Energía	kcal	160.00
2	Proteínas	g	1.36
3	Hidratos de Carbono	g	38.06
4	Fibra	g	1.80
5	Vitamina A	µg ER	7.50
6	Vitamina B1	mg	0.09
7	Vitamina B2	mg	0.0048
8	Niacina	mg EN	0.85
9	Vitamina B6	mg	0.00
10	Folatos	µg	270000000
11	Vitamina C	mg	20.60
12	Vitamina E	mg	0.19
13	Calcio	mg	16
14	Fósforo	mg	27
15	Magnesio	mg	21.00
16	Hierro	mg	0.27
17	Potasio	mg	271
18	Cinc	mg	0.00
19	Grasa total	g	0.00
20	Grasa saturada	g	0.28
21	Sodio	mg	14

Fuente: (INCAP, 2012, p.39).

Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.3 Aguacate

Esta fruta pertenece a las zonas tropicales de Centroamérica, era utilizada para la alimentación de pueblos indígenas, de mucho significado para la cultura Azteca y Maya. Los españoles la introdujeron a las Antillas, extendiéndola hacia California y algunas regiones de Sudamérica, en donde se realizaron cambios genéticos para la mejora de la calidad de producción, y posteriormente ser expandida hacia diferentes partes del mundo que tuvieran las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de esta fruta (Garbanzo, 2011, p.19).

El aguacate tiene alrededor de 100 cultivares y cuatro variedades hortícolas que son: guatemalteca, antillana, mexicana y costarricense, de las cuales las más reconocidas a nivel internacional son la guatemalteca y la mexicana (Pérez et al., 2015, p.112).

1.2.3.1 Descripción morfológica

La planta de aguacate alcanza aproximadamente los 20 metros de altura, aunque en sembríos comerciales no se permite su crecimiento más de 5 metros, debido a que debe haber facilidad para realizar las tareas de fertilización, cosecha, control de plagas y enfermedades. Se le considera un cultivo permanente, pues su producción permanece activa por todo el año (Pérez et al., 2015, p.112).

Su fruto tiene forma de pera, de distintas coloraciones que dependerán a la variedad que pertenezcan, estas coloraciones son: verde oscuro, verde claro, negro y violeta, su cáscara es rugosa y su pulpa es de coloración verde amarillenta (Pérez et al., 2015, p.112).

1.2.3.2 Clasificación botánica

Tabla 4-1: Clasificación botánica del aguacate

No.	CARACTERÍSTICAS	
1	REINO	Plantae
2	DIVISIÓN	Magnoliophyta
3	CLASE	Magnoliopsida
4	ORDEN	Lurales
5	FAMILIA	Luraceae
6	GÉNERO	Persea
7	ESPECIE	<i>Persea americana</i> Mill

Fuente: (Pérez et al., 2015, p.112).

Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.3.3 Composición nutricional

Tabla 5-1: Composición nutricional del aguacate

AGUACATE
Composición por cada 100 g de parte comestible

No.	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
1	Energía	kcal	160.00
2	Proteínas	g	2
3	Hidratos de Carbono	g	8.53
4	Fibra	g	1.80
5	Vitamina A	µg ER	7
6	Vitamina B1	mg	0.00
7	Vitamina B12	mg	0.00
8	Niacina	mg EN	1.74
9	Vitamina B6	mg	0.26
10	Folatos	mcg	81
11	Vitamina C	mg	10
12	Vitamina E	mg	3.20
13	Calcio	mg	12
14	Fósforo	mg	52
15	Magnesio	mg	29.00
16	Hierro	mg	0.55
17	Potasio	mg	485.00
18	Cinc	mg	0.30
19	Grasa total	g	14.66
20	Grasa saturada	g	2.13
21	Sodio	mg	7.00

Fuente: (INCAP, 2012, p.32).
Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.3 Semilla de aguacate

El aguacate (*Persea americana*) es una fruta con mesocarpio y endocarpio que posee una sola semilla, muy habitual alrededor del mundo, la pulpa se utiliza como alimento para las personas y en la industria alimenticia, quedando como desechos la corteza y la semilla (Ceballos y Montoya, 2013, p. 105).

Esta fruta tiene una semilla que representa aproximadamente el 25-35 % del peso de la fruta, la cáscara y la pulpa están adheridas a la semilla y constituyen alrededor del 40-60 %. La pulpa es la parte comestible, la cáscara y la semilla corresponden a los residuos de este fruto (Ponce et al., 2020, p. 1).

Los residuos del aguacate tienen excelentes condiciones para la extracción del almidón, ya que tiene una composición de amilosa (22,34 %) y amilopectina (77,66 %). El rendimiento en la

extracción de almidón es del 5 %, adecuado para ser utilizado en la elaboración de películas biodegradables, lo que lo convierte en una alternativa para los plásticos convencionales (Ponce et al., 2020, p.2).



Figura 3-1: Pepa de aguacate

Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.3.1 Análisis proximal de semilla de aguacate en base seca

Tabla 6-1: Análisis proximal de semilla de aguacate en base seca

Variedades	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra Cruda (%)	Carbohidratos (%)
Hass	60.14 ± 0.31	3.44 ± 0.03	5.52 ± 0.00	3.85 ± 0.03	3.98 ± 0.45	79.54 ± 0.56
Utz	67.20 ± 0.24	3.09 ± 0.02	6.32 ± 0.28	2.79 ± 0.19	4.24 ± 0.54	78.37 ± 0.78
Booth 8	53.85 ± 0.69	4.90 ± 0.17	6.70 ± 0.00	3.48 ± 0.21	4.06 ± 0.21	72.14 ± 1.56
Panchoy	50.15 ± 2.18	43.86 ± 0.18	6.00 ± 0.00	2.73 ± 0.12	2.67 ± 0.86	81.58 ± 0.30
Shupte	62.72 ± 0	9.63 ± 0.57	4.05 ± 0.94	4.30 ± 0.26	2.19 ± 0.30	42.45 ± 1.09

Fuente: (Bressani et al., 2006, p.30).

Realizado por: Díaz, C. 2021.

1.2.4 Almidón

Es un hidrato de carbono (polisacárido) digerible, perteneciente al grupo de los glucanos. Está compuesto por una proporción de amilosa y amilopectina, cuyas molécula lineal y ramificada determinan las propiedades de cada tipo de almidón, constituyendo la reserva energética de los vegetales (Castells, 2009, p.41).

1.2.4.1 Propiedades del almidón

El contenido de amilosa y amilopectina determinan significativamente las propiedades fisicoquímicas del almidón junto con su estructura.

1.2.4.2 Propiedades fisicoquímicas del almidón

Las propiedades más relevantes que aparecen en la composición del análisis proximal son: humedad, cenizas, viscosidad, pH, fibra y proteína. En cuanto a las características del almidón se determina por el tamaño del gránulo, forma, color y su naturaleza.

1.2.4.3 Propiedades funcionales del almidón

Temperatura de gelatinización

El almidón al ser insoluble en agua presenta alta estabilidad ante las interacciones que ocurren entre la amilosa y amilopectina. Al momento de adicionar calor a los gránulos de almidón en un medio acuoso, se produce pérdida de cristalinidad, en el caso de que exista poca cantidad de agua ocurre una despolimerización (Meneses et al., 2007, p.60).

La gelatinización se produce en el momento en que la solución acuosa alcanza una temperatura definida de acuerdo al tipo de almidón, produciéndose un hinchamiento en sus moléculas, debido a la penetración de agua en la estructura molecular (Meneses et al., 2007, p.60).

Retrogradación

Esta acción se refiere a la insolubilidad y precipitación primordialmente de las moléculas de amilosa, las cuales, si se calienta una solución muy concentrada de amilosa y se enfría inmediatamente hasta la temperatura del entorno, se produce la formación de un gel resistente y reversible. Por otro lado, si las soluciones se encuentran diluidas, se tornan turbias y si después de calentarla, se pone a enfriar estas tienden a precipitar (Rodríguez et al., 2007, p.15).

1.2.5 Amilosa

Es una cadena lineal de (1,4) α , de aproximadamente 0.15 a 0.4×10^6 glucanos acumulados por polimerización de α -glucopiranosos monómeros. En la mayoría de almidones también contienen algunas moléculas de amilosa, ramificadas en pequeña medida (0.1 %) a través de α -glucopiranosos (1,6) sustituyentes (Hernández et al., 2008, p.718).

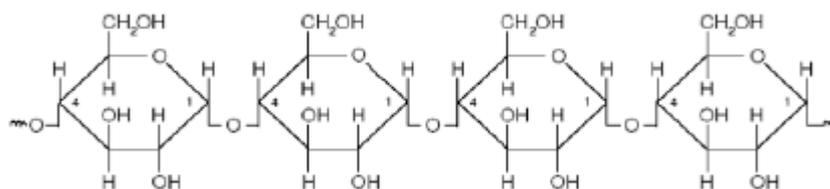


Figura 4-1: Estructura de amilosa

Fuente: (Meneses, Corrales y Valencia, 2007, p.59).

1.2.6 Amilopectina

La amilopectina es el glucano principal de la mayoría de los almidones, constituyendo un porcentaje de 75 a 85 %, compuesta por una estructura molecular muy ramificada. Sus cadenas ramificadas se forman a partir de monómeros de anhidroglucosa, unidos por enlaces α (1,4) con terminación no reductora. Está formada por aproximadamente dos millones de unidades de glucosa, las ramas de la cadena lateral se forman por aproximadamente 30 unidades de glucosa unidas por medio de enlaces α (1,6) (Agama et al., 2013, p.2).

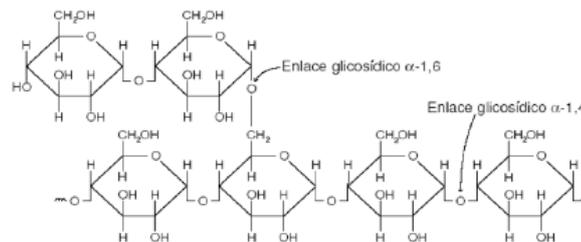


Figura 5-1: Estructura de amilopectina

Fuente: (Meneses, Corrales y Valencia, 2007, p.60).

1.2.7 Plastificante

Un plastificante son sustancias que se adicionan a un plástico para favorecer su elaboración y características del polímero. La incorporación de plastificantes puede disminuir la viscosidad, elasticidad y la temperatura de transición vítrea (Hermida, 2011, p.23).

1.2.7.1 Glicerol

El glicerol $C_3H_8O_3$, también conocido como 1,2,3-trihidroxipropanotriol, es un alcohol que tiene tres grupos hidroxilos (-OH) que es comercialmente conocido como glicerina. Este compuesto se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, es incoloro, inodoro, viscoso y levemente dulce. Sus grupos hidroxilo facilita su solubilidad en agua y alcohol, en cambio en solventes orgánicos como dioxanos y éteres es levemente soluble e insoluble en compuestos formados por únicamente átomos de carbono e hidrógeno (Lafuente, 2017, p.23).

1.2.8 Conservantes

1.2.8.1 Ácido acético

El ácido acético se emplea como solvente para la fabricación del ácido tereftálico usado en la elaboración de botellas de polietileno (PET). Además, en el sector alimenticio se utiliza como aditivo para alimentos como preservante de encurtidos, como floculante del látex natural, teñido y la impresión textil (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2018, p.2).

1.2.9 Procesos de extracción de almidón

1.2.9.1 Hidrólisis

La hidrólisis es una reacción química de descomposición de dos productos como el agua. Las reacciones de hidrólisis son posibles con sales, carbohidratos, proteínas, grasas, etc. La hidrólisis de sustancias orgánicas en reacciones de catabolismo ocurre, por regla general, con la participación de enzimas.

La hidrólisis que ocurre en los almidones es producida por enzimas alfa y beta amilasa, que suelen ser las más comunes. Por otro lado, para que este proceso se realice de manera más eficiente, es necesario que el almidón esté gelatinizado mediante su cocción, antes de añadir dichas encimas (Reyna et al., 2004, p.41).

1.2.9.2 Trituración

Es una Operación Unitaria que reduce el tamaño de partícula incrementando su área superficial. El gasto de potencia en la trituración, el tamaño de partícula y el incremento del área superficial depende de su tamaño inicial, así como la resistencia y forma de la partícula. Además, influye el tipo de triturador o molino empleado y de los parámetros de operación para estas máquinas, tales como la temperatura, dimensión del tamiz, entre otros (Meghwal & Goswami, 2012, p.427).

1.2.9.3 Filtración

Es una Operación Unitaria que separa los sólidos que se encuentran suspendidos en una mezcla líquida. La filtración da como resultado la formación de una especie de capa (torta) sobre la superficie de un objeto poroso o tejido que se utiliza como medio filtrante. Por lo tanto, una vez que se forme la capa en la superficie, los sólidos van aumentando el espesor de la capa, mientras que el líquido pasa a través del medio filtrante (Brito, 2000, p.23).

1.2.9.4 Sedimentación

Es el proceso que consiste en la separación de un sólido, que se encuentra suspendido en un líquido por acción de la gravedad con dependencia del tiempo, obteniendo un líquido clarificado en la superficie y los sólidos en la base del recipiente. Estos sólidos se encuentran divididos en la disolución formando flóculos, cuya acción puede llevarse a cabo de forma continua o intermitente (Oliva et al., 2008, p.18).

1.2.9.5 Decantación

Es un proceso que permite separar mezclas heterogéneas mediante la eliminación de la capa líquida libre del precipitado o los sólidos depositados en la solución, con la finalidad de obtener el líquido libre de material sólido o la recuperación del sólido, siempre y cuando haya una diferencia en las densidades de las fases (López et al., 2005, p.3).

1.2.9.6 Secado

El secado es una Operación Unitaria de separación mediante la cual se extrae agua o algún compuesto volátil por medio de evaporación, obteniendo un sólido. Esta operación se lleva a cabo para conservar o alargar la vida útil de los productos, entre ellos los alimentos. Durante el proceso de secado se produce una transferencia de masa, transferencia de calor y momentum, que dependen de las propiedades estructurales y moleculares del material a secar (Olivas et al., 2004, p.42).

Al hablar de transferencia de calor puede ocurrir por conducción, convección o radiación. En este caso la velocidad de secado dependerá de condiciones externas como; temperatura, humedad y flujo de aire, área superficial expuesta y presión. En algunos materiales puede presentarse encogimiento, excesiva evaporación después de que la humedad ha sido removida, dando como resultado agrietamiento y deformación en el material (Olivas et al., 2004, p.42).

1.2.9.7 Tamizado

Es una Operación Unitaria que separa las distintas fracciones que componen un sólido granular, basado en su diferente tamaño, para lo cual utiliza cribas o tamices. Un tamiz puede ser considerado cualquier superficie agujereada que permita la separación de los sólidos, mediante agitación relativa, con lo cual permite que las partículas sólidas que tengan un diámetro menor al tamiz puedan atravesarlas. Estos tamices pueden ser fabricados por medio de barras metálicas entrecruzadas o en paralelo (Brito, 2000, p.33).

1.2.10 Biopolímeros

Son aquellos materiales elaborados mediante fuentes sostenibles, como aceites de origen vegetal, residuos orgánicos, etc., por otro lado, su degradación es natural, suprimiendo así el efecto contaminante en su disposición final (Neila, 2015, p.1).

Se pueden clasificar según su fuente como: polímeros obtenidos a partir de fuentes renovables (almidón y celulosa), biopolímeros basados en monómeros (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por medio de microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)) (Valero et al., 2013, p.172).

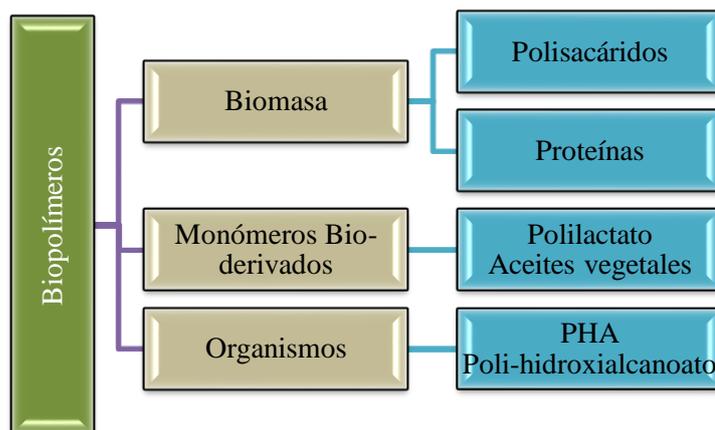


Gráfico 1-3: Clasificación de los biopolímeros

Fuente: (Valero et al., 2013, p.172).

Los polímeros elaborados a partir de fuentes renovables y biodegradables cumplen con todos los requisitos de las normas reconocidas de biodegradación, compost de plásticos y artículos plásticos. Aunque algunos no son específicamente biodegradables puesto que la mayoría sí lo son; en cambio, los artículos plásticos no son necesariamente obtenidos a partir de fuentes renovables para cumplir con las especificaciones de las normas establecidas, debido a que la biodegradabilidad tiene relación directa con la estructura química que con la fuente de elaboración (Valero et al., 2013, p.172).

1.2.10.1 Biopolímeros extraídos de la biomasa

Los biopolímeros provenientes de la biomasa se obtienen a partir de almidón, el cual está formado por dos polímeros: la amilosa y amilopectina, que en su mayoría se encuentran presentes en porcentajes de 25 % de amilosa y 75 % de amilopectina. El 75 % de los biopolímeros obtenidos a partir de almidón son utilizados para la elaboración de envases y embalajes de productos (Valero et al., 2013, p.173).

El almidón es un polímero de gran potencial en la fabricación de productos biodegradables. No obstante, su poca resistencia a la humedad limita su procesabilidad y se vuelve incompatible con varios polímeros hidrofóbicos (Valero et al., 2013, p.173).

1.2.11 Mecanismos de formación, propiedades físicas de las biopelículas

Varios componentes o aditivos son usados para el diseño de biopelículas con la finalidad de mejorar sus características funcionales, dichos aditivos difieren en su forma molecular, masa molar y polaridad.

Para la elaboración de biopelículas y recubrimientos es necesario realizar varias formulaciones experimentales, de manera que su matriz estructural posea adhesión que al ser combinado con el plastificante se obtenga bajas interacciones moleculares (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, p.31).

1.2.11.1 Humedad y solubilidad en agua

La humedad se define como la cantidad de agua presente en un cuerpo. La solubilidad en agua refleja el contenido o porcentaje de materia seca de la biopelícula luego de su solubilización en el agua, en un tiempo determinado. Puesto que es la medida de la capacidad de un soluto para disolverse en un líquido a determinadas condiciones de temperatura y presión, siendo el solvente un factor clave para la solubilidad de una sustancia (Escobar et al., 2009, p.33).

1.2.11.2 Permeabilidad al vapor de agua

Es la cantidad de vapor de agua que atraviesa un material, dependiendo de su porción hidrofóbica, espesor o unidad de área. Mediante el movimiento que realiza el vapor de agua en las biopelículas se puede mantener un control de la transferencia de humedad que se produce desde el producto hacia el ambiente, de manera que esta acción sea lo más lenta posible (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, p.32).

1.2.11.3 Resistencia a la elongación, tensión y al rompimiento

Son pruebas de resistencia en las cuales se evalúa la elongación y rompimiento mediante el estiramiento, la cual es la medida de flexibilidad o la capacidad de estirarse de la biopelícula hasta su rotura (EB%), mientras que la resistencia a la tensión (TS, Mpa) es el límite máximo de estiramiento que presenta la biopelícula (Solano et al., 2018, p.32).

Las características de las biopelículas variarán de acuerdo a la adición de aditivos, es decir, para mejorar sus propiedades, como por ejemplo al elaborar una biopelícula con gelatina y tocoferol disminuirá su elongación, a causa de la interacción de los dos componentes, disminuyendo el movimiento de las macromoléculas en la biopelícula (Solano et al., 2018, p.32).

1.2.11.4 Biodegradabilidad

Según la norma ASTM D 5488-944, la biodegradabilidad es la capacidad de un material de descomponerse químicamente por medio de microorganismos en metano, dióxido de carbono y residuos orgánicos (Meneses et al., 2007, p.61).

El inicio del proceso de biodegradación depende de varios factores como: aire, humedad, presencia de microorganismos, condiciones de temperaturas adecuadas (entre 20°C y 60°C) para

el crecimiento de microorganismos y valores de pH adecuados (entre 5 y 8) (Meneses et al., 2007, p.61).

Por lo general, este proceso de biodegradabilidad es algo complejo, ya que el tamaño molecular que poseen los polímeros y su poca solubilidad en el agua, hace que los microorganismos no sean capaces de llevar el material polimérico hacia sus células donde ocurren los procesos bioquímicos. Debido a que al inicio excretan enzimas extracelulares que depolimerizan el material en las afueras de la célula, produciendo finalmente los gases y materia orgánica (Valero et al., 2013, p.172).

1.2.12 Diseño factorial 2^k

El diseño factorial muestra todas las posibles combinaciones que se pueden obtener en un experimento, de acuerdo a los distintos niveles de los factores en cada uno de sus ensayos. Por lo que se aplica la siguiente metodología:

Primero se identifica a todos los factores que puedan intervenir en la variable respuesta, para establecer un modelo, luego se realiza el experimento tomando en consideración todas las observaciones, estimando los parámetros del modelo establecido. Se determina si los factores influyen en la respuesta y el origen que muestra diferencias, en el caso que alguna no muestre alguna diferencia significativa se simplificará el modelo experimental (Gutiérrez y De la Vara, 2008, p.175).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 General

- Obtener una biopelícula a partir de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y pepa de aguacate (*Persea americana*) para el uso en alimentos.

2.1.2 Específicos

- Obtener el almidón de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y la pepa de aguacate (*Persea americana*) por medio de trituración, sedimentación, decantación, secado, molienda y tamizado.
- Caracterizar los almidones obtenidos mediante métodos físicos y químicos.
- Evaluar las formulaciones de almidón y aditivos para la obtención de la biopelícula.
- Validar la eficacia de la biopelícula en alimentos.

2.2 Hipótesis y especificación de variables

2.2.1 Hipótesis General

¿El material polimérico extraído a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate tendrá las características necesarias para elaborar las biopelículas aplicables en los alimentos?

2.2.2 Hipótesis Específicas

- Podrá variar el rendimiento de almidón obtenido, el método de extracción utilizado.
- El contenido de amilosa y amilopectina del almidón obtenido influirá en la formulación de las biopelículas.
- Las formulaciones entre los almidones y los aditivos determinarán las características de la biopelícula obtenida.
- Las propiedades de la biopelícula obtenida podrán conservar las propiedades organolépticas de los alimentos.

2.2.3 Identificación de Variables

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

Variable dependiente	Variable independiente
Obtención del almidón	Revoluciones por minuto
	Tiempo de trituración

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 2-2: Identificación de las variables de las biopelículas

Variable dependiente	Variable independiente
Formulación de Biopelícula	Porcentaje de almidones
	Porcentaje de plastificante (glicerina)

Realizado por: Díaz, C. 2021.

2.4 Operacionalización de Variables

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

Variable	Tipo de Variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumento de medición
Almidón	Dependiente	El almidón o fécula es una macromolécula que está compuesta por dos polímeros distintos de glucosa, la amilosa (en proporción del 25 %) y la amilopectina (75 %) en la mayoría de los casos.	-	Porcentaje de amilosa y amilopectina	Análisis proximal
Revoluciones por minuto	Independiente	Magnitud física que mide el número de giros por unidad tiempo de trituración.	Trituración de yuca amarilla y pepa de aguacate	Velocidad alta y baja (rpm)	Licadora
Tiempo	Independiente	Magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos.	Tiempo de licuado en la obtención del almidón	Segundos (s)	Cronómetro

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 4-2: Operacionalización de variables que intervienen en el proceso de elaboración de la biopelícula

Variable	Tipo de Variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumento de medición
Formulación de la biopelícula	Dependiente	Desarrollo y fabricación de un producto, mediante la mezcla de distintas materias primas de origen natural.	Porcentajes de formulación	Unidades de las pruebas	Pruebas físico-mecánicas, microbiológicas
Porcentaje de almidón	Independiente	Proporción de materia prima a utilizar.	Medida de almidón para la formulación	Peso (g)	Balanza analítica
Porcentaje de plastificante	Independiente	Proporción de plastificante a utilizar para el moldeo.	Medida de plastificante para la formulación	Volumen (ml)	Probeta/pipeta graduada

Realizado por: Díaz, C. 2021.

2.2.5 *Matriz de Consistencia*

Tabla 5-2: Matriz de consistencia

Aspectos Generales				
Problema General	Objetivo General		Hipótesis General	
El uso excesivo de material plástico de un solo uso ha ocasionado que los niveles de contaminación se eleven, y por lo tanto un gran impacto ambiental. Por ello, se ha visto la necesidad de elaborar biopelículas a partir de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, con el fin de aprovechar los recursos naturales disponibles en el medio.	Obtener una biopelícula a partir de yuca amarilla (<i>Manihot esculenta</i>) y pepa de aguacate (<i>Persea americana</i>) para el uso en alimentos.		¿El material polimérico extraído a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate tendrá las características necesarias para elaborar las biopelículas aplicables en los alimentos?	
Aspectos Específicos				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables de las Hipótesis Específicas	Técnicas de recolección de datos
¿Se obtendrá almidón mediante el método de trituración?	Obtener el almidón de yuca amarilla (<i>Manihot esculenta</i>) y la pepa de aguacate (<i>Persea americana</i>) por medio de	<ul style="list-style-type: none"> • H1: Podrá variar el rendimiento de almidón obtenido, el método de extracción utilizado. 	Variables Dependientes: <ul style="list-style-type: none"> • Obtención del almidón 	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción de los almidones

	hidrólisis, trituración, decantación, secado y tamizado.		<ul style="list-style-type: none"> • Formulación de la biopelícula <p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revoluciones por minuto • Tiempo de trituración • Porcentaje de almidón • Porcentaje de plastificante 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo del rendimiento • Formulación de la biopelícula • Pruebas físico-mecánicas de la biopelícula
Se desconoce las propiedades del almidón obtenido.	Caracterizar los almidones obtenidos mediante métodos físicos y químicos.	H2: El contenido de amilosa y amilopectina del almidón obtenido, influirá en la formulación de las biopelículas.		
¿Se determinará las formulaciones más adecuadas para la elaboración de las biopelículas?	Evaluar las formulaciones de almidón y aditivos para la obtención de la biopelícula.	H3: Las formulaciones entre los almidones y los aditivos determinarán las características de la biopelícula obtenida.		
¿Se evaluará la eficacia de la biopelícula obtenida en los alimentos?	Validar la eficacia de la biopelícula en alimentos.	H4: Las propiedades de la biopelícula obtenida, podrá conservar las propiedades organolépticas de los alimentos.		

Realizado por: Díaz, C. 2021.

2.3 Tipo y Diseño de Investigación

2.3.1 Tipo de Investigación

Según el método de investigación

Es una investigación de tipo bibliográfica, ya que su propósito es la revisión de información de diferentes autores, con el propósito de ampliar y profundizar las teorías establecidas acerca de la elaboración de biopelículas, a partir de productos agrícolas.

Según el objeto de investigación

La investigación es de tipo teórica, porque reúne datos teóricos relevantes, para generar nuevos conceptos relacionados con la obtención de biopelículas a partir de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate.

Según el nivel de profundización en el objeto de estudio

Es descriptiva, debido a que describe el proceso desde la extracción, caracterización fisicoquímica del almidón, hasta las formulaciones específicas que se emplearán en la elaboración de las biopelículas y su posterior validación en los alimentos.

Según la manipulación de variables

La presente investigación es de tipo exploratoria, debido a que se centra en el análisis e investigación de aspectos concretos de la realidad, que no han sido analizados en su totalidad. Los cuales pueden ser utilizados para investigaciones posteriores, en la elaboración de formulaciones para la obtención de biopelículas a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate.

Según el tipo de inferencia

Es una investigación deductiva, porque el conocimiento que se adquiere parte de lo particular para llegar a lo general.

Según el período temporal

Es de tipo transversal porque se centra en el estudio de recolección de datos, el cual se realizará en un tiempo determinado, en donde se dará solución al problema planteado.

Según la condición de estudio

La investigación es de tipo documental, debido a que se desarrollará mediante consultas bibliográficas de libros, artículos científicos, revistas, tesis para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

2.3.2 Diseño de la Investigación.

El diseño experimental de esta investigación se realizó en base al objetivo de obtener una biopelícula a partir del almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate para el uso en alimentos. Este proceso se realizará en cuatro etapas. En la primera se extraerá el almidón de las materias primas. En la segunda se realizará la caracterización fisicoquímica del almidón obtenido. En la tercera se efectuarán formulaciones para elaborar las biopelículas con mejores características. En la última etapa se realizará la validación de las biopelículas obtenidas al utilizarlas en alimentos.

2.3.2.1 Diseño experimental factorial 2^k.

Mediante este diseño experimental 2^k se procederá con la extracción del almidón, en este caso se tendrá dos variables que son: la velocidad de trituración (baja y alta) y en tiempos de 30 y 60 segundos. Para lo cual, se realizará 4 repeticiones por tratamiento, es decir, que para la velocidad de trituración baja se efectuará cuatro repeticiones en los tiempos de (30 y 60) segundos y de la misma manera para la velocidad de trituración alta. Los datos recolectados, se tabularán de la siguiente manera:

Donde:

T1 RPM B:30 = Velocidad de trituración baja por 30 segundos

T3 RPM A:60 = Velocidad de trituración baja por 60 segundos

T2 RPM B:30 = Velocidad de trituración alta por 30 segundos

T4 RPM A:60 = Velocidad de trituración alta por 60 segundos

Además, se tabulará el peso del almidón obtenido en cada repetición, el total de almidón y promedio en cada tratamiento, con el fin de obtener el rendimiento en cada uno de ellos y como dato adicional el tiempo de secado del mismo.

Diseño del proceso metodológico de extracción de almidón



Gráfico 2-3: Diagrama de flujo de proceso de extracción de almidón de la yuca amarilla y pepa de aguacate

Realizado por: Díaz, C. 2021.

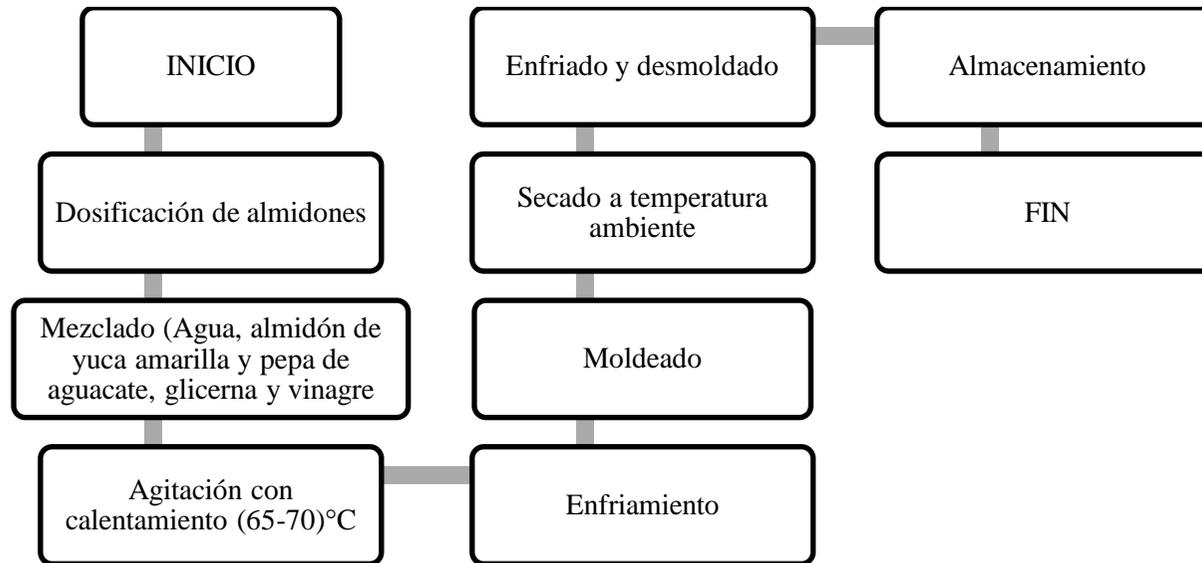


Gráfico 3-3: Diagrama de flujo de proceso de obtención de biopelícula

Realizado por: Díaz, C. 2020.

2.4 Unidad de Análisis

La unidad de análisis de la presente investigación es el almidón obtenido, mediante el cual se realizará ensayos de formulaciones de porcentaje de almidón-plastificante, para la obtención de las biopelículas y la validación de la misma.

2.5 Población de Estudio

La población de estudio será escogida al azar, garantizando que todos los individuos que componen la población tengan la misma oportunidad de ser incluidos en la muestra.

2.6 Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra utilizado para esta investigación es de 5 a 10 Kg de yuca amarilla y de pepa de aguacate, con la finalidad de extraer una cantidad de almidón suficiente para la caracterización fisicoquímica y formulación de las biopelículas.

2.7 Selección de muestra

La selección de la muestra se realizará mediante un método no probabilístico, tomando en cuenta la frescura de la yuca amarilla y la pepa de aguacate.

2.8 Técnicas de Recolección de Datos

2.8.1 Extracción de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate

2.8.1.1 Materiales, equipos, sustancias y reactivos

a) Materia prima

- Yuca amarilla
- Pepa de aguacate

b) Sustancias y reactivos

- Agua destilada

c) Equipos

- Licuadora Oster clásica 600w, velocidad baja 6800 rpm y velocidad alta 20000 rpm
- Tamices con apertura de 300 μm , 150 μm y 53 μm
- Balanza digital marca Camry

d) Materiales

- Recipientes de 1L
- Cuchilla
- Tela filtrante o cedazo
- Recipientes aluminio
- Mortero y pistilo

2.8.1.2 Procedimiento de extracción de almidón

- a) Recolección de la materia prima: se seleccionarán yucas amarillas frescas, al igual que las pepas de aguacate.
- b) Pelado y limpieza: de cada materia prima se retirará la cáscara con la ayuda de un cuchillo, en el caso de la pepa de aguacate se la pondrá a secar con el fin de facilitar el retiro de su corteza, para posteriormente realizar el lavado de cada una.
- c) Cortado: se cortará en finos trozos cada materia prima, con la finalidad de facilitar su trituration.
- d) Pesado: se pesará la materia prima cortada en cantidades de 200g, para colocarla en el vaso de la licuadora junto con 500ml de agua para cada tratamiento y repetición.
- e) Trituración: se triturará mediante la licuadora Oster por el tiempo de 30 y 60 segundos a velocidad alta y baja, con cuatro repeticiones cada tratamiento.
- f) Filtrado: el producto obtenido se pasará a través de una tela filtrante o cedazo hacia un recipiente de 1L, con el fin de filtrar el almidón.
- g) Sedimentación y decantación: se dejará en reposo por un tiempo de 24 horas para que los gránulos de almidón sedimenten, posteriormente, se eliminará el líquido que se encuentra libre de almidón. Luego se lavará el sedimento con agua destilada por 3 veces para nuevamente dejar sedimentar y decantar.
- h) Secado: se secará el almidón a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 30 a 40 horas.
- i) Molienda: los gránulos secos de almidón obtenidos se triturarán por medio de un mortero y pistilo para reducir su tamaño.
- j) Tamizado y pesado: se tamizará por medio de una malla de 300 μm , 150 μm y finalmente por una malla de 53 μm , para su posterior pesaje.
- k) Almacenaje: el almidón obtenido de cada tratamiento y repetición se guardará en fundas ziploc con su respectiva identificación.
- l) Cálculos e interpretación.

El rendimiento obtenido se calculará en base a la cantidad de materia prima empleada en cada repetición y a la cantidad de almidón obtenido en cada una de ellas, dicho cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del almidón (g)}}{\text{Peso de la materia prima (g)}} * 100$$

2.8.2 Análisis físico químico del almidón

2.8.2.1 Humedad

a) Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Balanza de humedad marca RADWAG
- Cápsulas de porcelana
- Estufa con temperatura constante y ventilación forzada
- Desecador con un agente de secado

b) Procedimiento con la balanza de humedad

- Tarar las cápsulas a una temperatura de 80°C por 5 horas.
- Pesar 20g de almidón en la capsula, 3 muestras por almidón.
- Colocar en la estufa a una temperatura de 80°C por un tiempo de 24 horas.
- Poner en un desecador las cápsulas por 30 minutos hasta obtener peso constante.
- Pesar las cápsulas con la muestra.

d) Interpretación

Como apuntan Aristizábal y Sánchez (2007, p.62) los almidones con contenidos de materia seca mayores de 90 % indican altas condiciones de secado y almidones con contenidos de materia seca menores de 87 % indican probabilidad de contaminación con hongos y otros microorganismos.

2.8.2.2 Ceniza

a) Materiales y equipos

- Reverbero
- Malla de amiento
- Mufla
- Balanza analítica
- Crisoles
- Pinza

b) Procedimiento

- Tarar los crisoles mediante la mufla a 550°C por 1 hora, colocarlo en un desecador y tomar su peso hasta que sea constante.
- Pesar tres muestras de cada almidón de aproximadamente 1g y colocarlas en cada uno de los crisoles.
- Calcinar las muestras de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate colocándolas sobre el reverbero hasta que deje de desprender humo.
- Colocar los crisoles con las muestras calcinadas en la mufla a una temperatura de 550°C por aproximadamente 7 horas o hasta que la muestra se muestre totalmente convertida en ceniza (coloración blanca).
- Enfriar los crisoles en un desecador por un tiempo de 25 a 30 minutos.
- Pesar cada uno de los crisoles con las cenizas para el cálculo respectivo del porcentaje de cenizas.

c) Cálculos e interpretación

Para la determinación del porcentaje de cenizas, se multiplicará el peso de las cenizas obtenidas por 100 y se lo dividirá para el peso inicial de la muestra. El contenido de cenizas puede proveer una estimación de la calidad del almidón: altos niveles de cenizas indican contaminación de la muestra (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.91).

2.8.2.3 Solubilidad

a) Sustancias, materiales y equipos

- Agua destilada
- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Baño con calentamiento constante
- Centrífuga a 3000rpm
- Tubos de centrifuga plásticos de 50 ml
- Vasos de precipitado de vidrio de 50 ml
- Estufa
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Probeta de 50ml

b) Procedimiento

- Secar los tubos de centrifuga en la estufa a una temperatura de 60° C.
- Pesar los tubos de centrifuga y colocar en cada uno de ellos una muestra de 1.5 g de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, este ensayo se lo realizará por triplicado para cada almidón.
- Medir 30ml de agua destilada precalentada a 60° C en la probeta y adicionar a cada uno de los tubos.

- Agitar levemente el sedimento y colocar los tubos en baño maría a 60° C por un tiempo de 30 minutos, agitar nuevamente a los 10 minutos de haber colocado en el baño maría.
- Centrifugar a 3000 rpm por 30 minutos a temperatura ambiente.
- Tarar los vasos de precipitación y medir su peso.
- Medir el volumen del líquido obtenido en la decantación de los tubos de centrífuga.
- Colocar exactamente 10 ml del líquido en un vaso de precipitación.
- Secar en la estufa a 70° C durante 24 horas.
- Pesarse cada uno de los tubos de centrífuga que se encuentran con el gel.
- Pesarse los vasos de precipitación con los insolubles.

c) Cálculos e interpretación

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.

Alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73).

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

2.8.2.4 Medida de pH

a) Sustancias, materiales y equipos

- Agua destilada
- Balanza analítica con precisión de 0.01g
- Medidor de pH
- Probeta
- Solución tampón de 4.0 y 7.0
- Vaso de precipitación de 250ml
- Varilla de agitación

b) Procedimiento

- Realizar la calibración del medidor de Ph por medio de las soluciones tampón de 4.0 y 7.0
- Pesarse 20g de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate y colocarlos en los vasos de precipitados.
- Adicionar 100ml de agua destilada previamente hervida para eliminar el CO₂
- Pasar la solución a través de un papel filtro y tomar una alícuota.

- Introducir el electrodo y medir el Ph.

c) Interpretación

Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.89) el Ph del almidón debe estar entre 6 a 6.5.

2.8.2.5 Viscosidad

a) Sustancias, materiales y equipos

- Balanza analítica con precisión de 0.01
- Viscosímetro
- Aguja para el Brookfield N°21 y Baño de agua con temperatura constante
- Vaso de precipitado de vidrio de 1000 ml
- Varilla de agitación
- Termómetro
- Reverbero

b) Procedimiento

- Tomar una muestra de 25g de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate para colocarlos en vasos de precipitación de 1000ml.
- Añadir 500ml de agua destilada y homogenizar con la varilla de agitación.
- Colocar en el reverbero hasta que ebulle por un tiempo de 15 minutos.
- Dejar enfriar el gel hasta una temperatura de 25° C.
- Llevar al viscosímetro y realizar la medición a una velocidad de 10 rpm.

c) Interpretación

Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.66) los almidones de yuca generalmente se encuentran de 840 a 1500 Cp.

2.8.2.6 Temperatura de gelatinización

a) Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Reverbero
- Baño maría
- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación de 100ml
- Pinzas de acero inoxidable
- Termómetro con escala de 0-100 °C

b) Procedimiento

- Disolver 10g de almidón en 100ml de agua destilada.

- Colocar el vaso en el baño maría a una temperatura de 85° C.
- Realizar una agitación constante con el termómetro hasta que se forme una pasta homogénea.
- Tomar la lectura directamente del termómetro.

c) Interpretación

La temperatura de gelatinización de los almidones de yuca varía entre 57,5- 70 °C. (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72).

2.8.2.7 Proteína

a) Sustancias y reactivos

- Sulfato de potasio K₂SO₄
- Sulfato de cobre CuSO₄
- Ácido sulfúrico H₂SO₄
- Ácido bórico H₃BO₃ al 4 %
- Ácido clorhídrico HCl 0.1N
- Agua destilada

b) Materiales y equipos

- Tubo Kjeldhal
- Destilador
- Erlenmeyer de 500ml

c) Procedimiento

- Pesar 0.5g de almidón en el tubo de digestión macroKjeldhal.
- Añadir 2g de mezcla catalizadora (1.8g de K₂SO₄ y 0.2g de CuSO₄) y 20 ml de H₂SO₄©
- Colocar el tubo en el equipo Kjeldhal y encender. El momento en el que el time llegue a 0 apagar el equipo y dejar que se enfríe el tubo.
- Retirar el tubo del equipo y colocar 25 ml de agua destilada.
- Poner el tubo en el destilador, colocar un Erlenmeyer de 500ml en la parte derecha del destilador con 50 ml de ácido bórico al 4%, y dos gotas de indicador rojo de metilo y verde de bromocresol.
- Observar que se torne de un color verde esmeralda y titular el destilado con HCl 0.1N hasta el cambio de color a rojo.

d) Cálculos para porcentaje de proteína

$$\%P = 1.4 * f * V * N/m$$

Donde:

%P= Contenido de proteína

f= factor para transformar el %N2 en proteína (específico del alimento)

V= Volumen del HCl empleado en la titulación

N= Normalidad del HCl (ml)

m= Masa (g)

2.8.2.8 Fibra

a) Sustancias y reactivos

- Hidróxido de sodio NaOH
- Ácido sulfúrico H₂SO₄ 1.25%
- Hexano
- Agua destilada

b) Materiales y equipos

- Estufa
- Mufla
- Vaso Berzellius
- Crisol Gooch
- Papel filtro
- Núcleos de ebullición

c) Procedimiento

- Colocar en un vaso Berzellius, 2 g de muestra seca y desengrasada, con núcleos de ebullición y 250 ml de H₂SO₄ 1.25%.
- Llevarla al equipo y mantener en ebullición por 30 minutos exactos.
- Desconectar el vaso del equipo y filtrar al vacío.
- Lavar con 250 ml de agua caliente el vaso y el papel filtro.
- Trasvasar el residuo al vaso Berzellius y adicionar 250 ml de hidróxido de sodio 1.25%.
- Colocar el vaso en el equipo ajustando el condensador.
- Mantener en ebullición por un periodo de 30 minutos exactos.
- Desconectar el vaso del condensador, dejar enfriar para filtrarlo por el crisol Gooch conteniendo una capa de lana de vidrio y previamente tarado.
- Lavar con 250 ml de agua caliente el vaso y el papel filtro, repetir el lavado con 15 ml de hexano.
- Colocar el crisol en la estufa a 105°C por 12 horas, enfriar en el desecador y pesar.
- Colocar el crisol en la mufla a 600°C por un tiempo de 30 minutos, enfriar en el desecador y pesar.

d) Cálculos

$$\%F = \left\{ \left(\frac{P_1 - P}{m} \right) \right\} * 100$$

Donde:

%F = Fibra cruda en porcentaje en masa.

P1= masa del crisol con el residuo desecado en (g).

P= masa del crisol junto con la ceniza en (g).

m= masa de la muestra luego de secar (g).

2.8.2.9 Análisis microbiológico

La determinación análisis microbiológico se lo realizará por medio del laboratorio SAQMIC.

2.8.2.10 Análisis de amilosa

El contenido de amilosa en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, se lo realizará por medio del Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos perteneciente al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

2.8.3 Obtención y análisis de biopelículas

2.8.3.1 Formulación y elaboración de biopelículas

a) Sustancias y reactivos

- Agua destilada
- Glicerina
- Ácido acético

b) Materiales y equipos

- Balanza analítica
- Vaso de precipitación
- Reverbero
- Malla de amiento
- Cajas Petri
- Moldes

c) Procedimiento

- Pesaje y dosificación: Se pesará cantidades de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, dependiendo el porcentaje de amilopectina que presenten, es decir, el almidón que tenga mayor porcentaje de amilopectina se pondrá en mayor cantidad y viceversa.

- Mezclado: En un vaso de precipitación se colocará las cantidades de almidón previamente pesadas, agua destilada, glicerina y ácido acético. Con una varilla de agitación se procederá a homogenizar la mezcla para posteriormente someterla a calentamiento.
- Calentamiento: Se colocará el vaso de precipitación en un baño termostático con agitación constante, hasta que los almidones alcancen su temperatura de gelatinización, para luego colocarla en los moldes respectivos.
- Enfriamiento y secado: Se dejará enfriar y secar al ambiente.
- Almacenamiento: Se retirarán las láminas de los moldes y se colocarán en recipientes con su correspondiente identificación de cada formulación empleada. Se tomarán las formulaciones que presenten mejores características para posteriormente evaluarlas mediante las pruebas físicas y mecánicas.

2.8.3.2 Prueba de humedad

a) Materiales y equipos

- Estufa
- Balanza analítica de precisión 0.01

b) Procedimiento

- Cortar tres muestras de biopelículas por cada tratamiento en dimensiones de 2.5x2.5cm.
- Pesarse cada una de las muestras (P1) y colocarlas en la estufa a una temperatura de 105° C por 24 horas.
- Medir su peso en la balanza analítica hasta obtener un peso constante (P2).

c) Cálculos

Como subrayan Escobar et al. (2009, p.34) el cálculo se realiza por el método gravimétrico mediante la pérdida de peso de la biopelícula aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de humedad: } \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Donde:

P1= Peso inicial de la muestra

P2= Peso final de la muestra

2.8.3.3 Solubilidad en agua

a) Sustancias, materiales y equipos

- Agua destilada
- Agitador de muestras
- Balanza analítica con precisión de 0.01
- Frascos plásticos de 150ml
- Estufa

b) Procedimiento

- Cortar muestras de las biopelículas de un tamaño de 2.5x2.5cm y pesarlas
- Colocar cada muestra en un frasco plástico y añadir 80ml de agua destilada.
- Introducir en la incubadora de agitación por un tiempo de 1 hora a 100rpm
- Filtrar la biopelícula y secarla en la estufa a 105° C por 24 horas.
- Pesar las muestras para determinar la cantidad de materia seca no soluble en el agua, se realizan tres muestras por cada tratamiento de biopelícula.

c) Cálculos e interpretación

Según Escobar et al. (2009, p.34), el cálculo del porcentaje de solubilidad por el método gravimétrico, en donde se resta el peso final del peso inicial y se lo divide para el peso inicial para multiplicarlo por 100.

2.8.3.4 Permeabilidad al vapor de agua

a) Sustancias, materiales y equipos

- Balanza analítica con precisión de 0.001g
- Calibrador
- Desecador
- 12 tubos de ensayo

b) Procedimiento

- Activar la silica gel mediante la estufa a una temperatura de 105° C por 24 horas.
- Tomar tres muestras de cada tratamiento de la biopelícula en dimensiones de 2.5x2.5cm.
- Pesar cada muestra de biopelícula y cada tubo de ensayo.
- Colocar la silica gel dentro de los tubos de ensayo y tapar la boca del tubo con la biopelícula sellándola herméticamente con la ayuda de una cinta adhesiva.
- Luego que se encuentren sellados los tubos se realiza el pesaje de cada uno para colocarlos en el desecador que previamente se encuentre con una solución sobresaturada de NaCl.
- Pesar cada uno de los tubos en intervalos de 1 hora durante 6 horas.

c) Cálculos

$$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (Hr_2 - Hr_1)}$$

Donde:

P2: Peso de la lámina final.

P1: Peso de la lámina inicial.

E: espesor de la lámina.

T: tiempo de determinación.

Pv: presión de vapor del proceso.

Hr2: Humedad relativa del ambiente

Hr1: Humedad relativa dentro de la celda

2.8.3.5 *Espesor*

a) Materiales y equipos

- Calibrador

b) Procedimiento

- Se cortarán muestras de 3x3cm de cada repetición por tratamiento y se medirá con el calibrador en distintos puntos de la muestra

2.8.3.6 *Pruebas físicas*

Mediante el Laboratorio de Curtiembre y Fibra de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se medirán los siguientes parámetros:

- Esfuerzo tensión (Mpa)
- Espesor (mm)
- Módulo de tensión (Mpa)
- Esfuerzo flexión (a)
- Módulo flexión (Mpa)
- Elongación (%)

2.8.3.7 *Biodegradabilidad*

- Tomar varias muestras de las biopelículas de tamaño 3x3cm.
- Colocarlas en condiciones diferentes que son: agua, ambiente y tierra, por un periodo de 28 días.
- Mediante fotografías y el uso del programa ImageJ se evalúa el proceso de biodegradabilidad manejado por una escala que calcula el área de la biopelícula al transcurrir los días.
- Los valores se ubicarán en una tabla de resultados finales.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultados

3.1.1 Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón aplicando el método factorial 2^k

El proceso de extracción de almidón puede realizarse por dos métodos: vía húmeda o vía seca, con la finalidad de obtener el mayor rendimiento posible en la cantidad de almidón extraído. En este caso se realizó la extracción por vía húmeda, iniciando con la selección de la materia prima, proceso de limpieza, cortado, trituración, filtración, sedimentación, decantación, secado, molienda y tamizado. Para lo cual se aplicó el diseño experimental 2^2 en donde se trabajó con dos variables independientes que son: la velocidad de trituración en revoluciones por minuto y el tiempo de trituración.

Se puede señalar que, en el caso de la velocidad de trituración, se utilizó la velocidad baja de la licuadora Oster clásica que es a 6800 rpm y la velocidad alta que funciona a 20000 rpm. Mientras que, en los tiempos de trituración, el tiempo empleado en los experimentos fue de 30 y 60 segundos, empleados en 4 tratamientos.

Para el análisis del rendimiento de extracción, se utilizó una cantidad de 200 gramos de materia prima con 500 ml de agua para cada repetición. De acuerdo al diseño factorial empleado, se obtuvieron cuatro repeticiones por cada tratamiento realizado, es decir que se obtuvieron 16 muestras en total, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 1-3: Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón de yuca amarilla aplicando el método factorial 2^k

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (MI)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (H)	
					PRODUCTO	ALMIDÓN		R	PROMEDIO		
						R	PROMEDIO				TOTAL
1	T1	RPM B : 30	R1	500	200	28.47	26.88	107.53	14.23	13.44	30
2			R2			27.85			13.92		
3			R3			27.20			13.60		
4			R4			24.01			12.00		
5	T2	RPM A : 30	R1			36.06	37.55	150.20	18.03	18.77	36
6			R2			35.30			17.65		
7			R3			36.04			18.02		
8			R4			42.79			21.39		
9	T3	RPM B : 60	R1			45.39	45.97	183.87	22.69	22.98	40
10			R2			48.41			24.20		
11			R3			44.76			22.38		
12			R4			45.31			22.65		
13	T4	RPM A : 60	R1			39.69	42.78	171.13	19.84	21.39	40
14			R2			46.00			23.00		
15			R3			42.11			21.05		
16			R4			43.33			21.66		

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 1-3 muestra el rendimiento obtenido en los 4 tratamientos con sus 4 repeticiones, en el tratamiento T1 se trabajó a una velocidad baja de revoluciones por minuto en un lapso de 30 segundos, en el tratamiento T2 se manejó con una velocidad alta por 30 segundos, en el tratamiento 3 se empleó a una velocidad baja, pero por un tiempo más prolongado de 60 segundos y por último el tratamiento T4 trabajó a una velocidad alta por el tiempo de 60 segundos. El rendimiento de extracción se ve reflejados en la cantidad de almidón obtenido, para lo cual se aplicó el test ANOVA para determinar si existen diferencias en el método de extracción con respecto a la cantidad de almidón obtenido en cada uno de los tratamientos.

Tabla 2-3: Análisis de varianza en los rendimientos de extracción de almidón de yuca amarilla

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	305.94688	1	305.9468875	279.72	1.1126E-09	4.74722534
Columnas	2.5343446	1	2.534344601	2.3171	0.15386125	4.74722534
Interacción	2.5343446	1	2.534344601	2.3171	0.15386129	4.74722534
Dentro del grupo	13.124804	12	1.093733714			
Total	324.14038	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 2-3 muestra el análisis de varianza efectuado entre los cuatro tratamientos mediante el test ANOVA, el mismo que trabajó con un error de 0.05 para este diseño experimental obteniendo una interacción de 0.1538 valor que resulta mayor a 0.05, dando como resultado que entre los tratamientos no existe alguna diferencia estadísticamente significativa, debido a que los rendimientos obtenidos no son considerablemente distintos, mismos que podrían ser empleados para la extracción de almidón.

Sin embargo, al tomar en consideración aspectos como la industrialización del proceso, el tratamiento T2 se señala como el tratamiento más recomendable, tomando en cuenta que este tratamiento refleja un rendimiento similar a los otros, trabajando a una velocidad alta por un tiempo de 30 segundos, lo cual, al hablar del aspecto de consumo energético, significaría un ahorro en los costos de producción frente a los otros tratamientos que operan por más tiempo.

Tabla 3-3: Resultados de rendimientos obtenidos en la extracción de almidón de pepa de aguacate aplicando el método factorial 2^k

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN AGUA (MI)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		TIEMPO SECADO (H)	
					PRODUCTO	ALMIDÓN		R	PROMEDIO		
						R	PROMEDIO				TOTAL
1	T1	RPM B : 30	R1	500	200	13.22	12.34	49.35	6.61	6.16	24
2			R2			12.23			6.11		
3			R3			11.11			5.55		
4			R4			12.79			6.39		
5	T2	RPM B : 60	R1			22.21	24.19	96.77	11.10	12.09	30
6			R2			26.07			13.03		
7			R3			23.66			11.82		
8			R4			24.83			12.41		
9	T3	RPM A : 30	R1			20.56	18.52	74.06	10.28	9.25	30
10			R2			18.56			9.28		
11			R3			18.70			9.35		
12			R4			16.24			8.11		
13	T4	RPM A : 60	R1			34.37	35.02	140.08	17.18	17.50	36
14			R2			34.31			17.15		
15			R3			36.09			18.04		
16			R4			35.30			17.65		

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 3-3 presenta los datos obtenidos en la extracción del almidón de pepa de aguacate para cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones y variables. Se tiene 4 tratamientos T1, T2, T3 y T4, los cuales trabajan a velocidades baja y alta en tiempos de 30 y 60 segundos, de manera que se determinó el porcentaje de rendimiento en cada tratamiento, todos partiendo de una cantidad de materia prima de 200g y 500ml de agua. Para determinar si existen diferencias respecto al rendimiento obtenido en la extracción de almidón por cada tratamiento, se realizó el análisis de varianza por medio del test ANOVA el cual mostró los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Análisis de varianza de resultados de extracción de almidón de aguacate

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	72.3063235	1	72.30632347	156.029	3.08904E-08	4.747225347
Columnas	201.04794	1	201.0479402	433.839	8.67758E-11	4.747225347
Interacción	5.40649691	1	5.40649691	11.6666	0.005119587	4.747225347
Dentro del grupo	5.56098626	12	0.463415521			
Total	284.321747	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 4-3 muestra el análisis de varianza realizado mediante el test ANOVA para los cuatro tratamientos, el cual señala una interacción de 0.005, que resulta menor al valor de error de 0.05, por lo tanto, señala que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos acorde a los rendimientos obtenidos en cada uno de ellos. Razón por la cual se procedió a aplicar el test de TUKEY para determinar las diferencias existentes entre cada tratamiento, el resultado del test se muestra a continuación:

Tabla 5-3: Análisis de resultados mediante el test de TUKEY para la extracción de almidón de pepa de aguacate

	T1	T2	T3	T4
REPETICIONES	6.61	11.10	10.28	17.18
	6.11	13.04	9.28	17.15
	5.55	11.83	9.35	18.04
	6.39	12.41	8.11	17.65
PROMEDIO	6.17	12.10	9.26	17.51
HSD =	1.43			
Multiplicador =	4.20			
Mse =	0.46	Cuadrado error medio		

n =	4				Tamaño muestra
	T1	T2	T3	T4	
T1		5.93	3.09	11.34	
T2			2.84	5.41	
T3				8.25	
T4					

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 5-3 muestra la interacción entre los tratamientos, con el fin de terminar las diferencias entre los tratamientos. De acuerdo al valor obtenido en la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) que fue de 1.43 se comparan los valores obtenidos en el test, de manera que, si se obtuvieron valores mayores al HSD habrá diferencias significativas y, por el contrario, si se obtuvieron valores menores no existirán diferencias significativas.

Los valores reflejados por el test TUKEY se encuentran resaltados de color verde, todos son mayores al HSD, es decir, existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, debido a que el rendimiento obtenido en cada tratamiento resulta muy diferente. Por lo tanto, si se desea industrializar el proceso extractivo, se utilizaría el tratamiento T4 que es el que brinda un mayor rendimiento, cabe resaltar que este tratamiento trabaja a una velocidad alta por un tiempo de 60 segundos, por lo que el consumo energético sería mayor al de todos los tratamientos. Además, si se desea optimizar los costos de producción, el tratamiento T3 se perfila como una buena opción de acuerdo a que se observan un rendimiento proporcional basado en el tiempo de operación, pero con un gasto energético menor ya que trabaja por el mismo intervalo de tiempo, pero a una velocidad baja.

3.1.2 Resultados de análisis físico-químico, análisis proximal y microbiológico de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate

Luego de haber realizado el procedimiento de extracción del almidón, se procedió a realizar la caracterización físico-química, análisis proximal y microbiológico para cada almidón. Dicho procedimiento se llevó a cabo en los Laboratorios de Química Analítica, Investigación, Bromatología y Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El análisis de amilosa se efectuó por medio del Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). En cuanto al análisis microbiológico se lo realizó a través del laboratorio SAQMIC.

3.1.2.1 Contenido de Humedad

Tabla 6-3: Resultado de contenido de humedad en el almidón de yuca amarilla

N° muestra	Peso cápsula (g)	Peso muestra (g)	Peso 1 capsula + muestra (g)	Peso 2 capsula + muestra (g)	Peso 3 capsula + muestra (g)	Peso 4 capsula + muestra (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	39.2465	20.0051	59.2516	56.6949	56.6951	56.6950	87.22	12.78
Muestra 2	52.5207	20.0078	72.5285	69.9299	69.9306	69.9306	87.02	12.98
Muestra 3	49.1898	20.0016	69.1914	66.6006	66.6007	66.6007	87.05	12.95
Promedio								12.91

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 7-3: Resultado de contenido de humedad en el almidón de pepa de aguacate

N° muestra	Peso cápsula (g)	Peso muestra (g)	Peso 1 capsula + muestra (g)	Peso 2 capsula + muestra (g)	Peso 3 capsula + muestra (g)	Peso 4 capsula + muestra (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	86.2483	20.0392	106.2875	103.7779	103.7780	103.7780	87.48	12.52
Muestra 2	45.6331	20.0089	65.6420	63.0507	63.0511	63.0511	87.05	12.95
Muestra 3	39.2458	20.0108	59.2566	56.6804	56.6804	56.6804	87.13	12.87
Promedio								12.78

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Las Tablas 6-3 y 7-3 muestran los datos y resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad para los almidones de yuca amarilla y pepa de aguacate, dicho procedimiento se realizó por el método gravimétrico, el cual consiste en someter la muestra deshidratada al ambiente a la adición de calor por medio de la estufa a 105°C, hasta obtener un peso constante y calcular el porcentaje de humedad presente en las muestras.

Para este ensayo se tomaron 3 muestras por cada almidón, obteniendo un porcentaje de humedad promedio de 12.91 % para el almidón de yuca amarilla y un 12.78 % para el almidón de pepa de aguacate. Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.62), los almidones deben tener un contenido de materia seca entre el 87-90 %, debido a que si los almidones presentan porcentajes de materia seca inferiores a los mencionados, indicaría una cierta probabilidad de contaminación por algún microorganismo. Por lo que, en este caso el contenido de humedad presente en los almidones se encuentra dentro de los valores permisibles, por tanto, los almidones se encuentran en óptimas condiciones para su uso.

Como dato adicional también se obtuvo el resultado de prueba de humedad realizada por el INIAP, el cual certifica un contenido de humedad de 12.43 % para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, de manera que, se obtuvo valores similares en el laboratorio, los cuales se encuentran dentro del rango establecido.

3.1.2.2 Ceniza

Tabla 8-3: Resultados de contenido de cenizas en el almidón de yuca amarilla

N° muestra	Peso crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso 1 crisol + muestra (g)	Peso 2 crisol + muestra (g)	Peso 3 crisol + muestra (g)	Peso final crisol + muestra (g)	Peso cenizas (g)	Porcentaje de cenizas (%)
Muestra 1	34.7516	1.0042	34.7554	34.7554	34.7528	34.7528	0.0012	0.119
Muestra 2	35.5995	1.0013	35.6033	35.6015	35.6007	35.6007	0.0012	0.120
Muestra 3	42.5872	1.0008	42.5910	42.5890	42.5883	42.5883	0.0011	0.110
Promedio								0.116

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 9-3: Resultados de contenido de cenizas en el almidón de pepa de aguacate

N° muestra	Peso crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso 1 crisol + muestra (g)	Peso 2 crisol + muestra (g)	Peso 3 crisol + muestra (g)	Peso final crisol + muestra (g)	Peso cenizas (g)	Porcentaje de cenizas (%)
Muestra 1	37.9853	1.0017	37.9886	37.9870	37.9863	37.9863	0.0010	0.100
Muestra 2	46.7243	1.0008	46.7282	46.7267	46.7254	46.7254	0.0011	0.110
Muestra 3	45.3088	1.0004	45.3122	45.3105	45.3099	45.3099	0.0011	0.110
Promedio								0.107

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Las Tablas 8-3 y 9-3 muestran los datos y resultados obtenidos en la determinación de porcentaje de ceniza presente en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, este procedimiento se realizó por medio de una mufla a 550°C hasta obtener las cenizas de coloración blanquecina y que su peso sea constante, con previa calcinación de cada muestra hasta que no desprenda humo, para eliminar la parte orgánica del almidón.

En este ensayo se tomaron tres muestras por almidón, las cuales luego del proceso mostraron un contenido de cenizas del 0.116 % para el almidón de yuca amarilla y de 0.107 % para el almidón de pepa de aguacate, cabe resaltar que el contenido de cenizas es un gran indicador de la calidad de almidón que se obtuvo, ya que refleja la cantidad de sales y minerales que quedaron luego de la extracción y del contenido en la materia prima. Un estudio realizado por Martins et al. (2016,

p.6) señala que encontraron un contenido de cenizas en la pepa de aguacate del 0.38 %, mientras que Aristizábal y Sánchez (2007, p.91) afirman que el contenido de ceniza en el almidón de yuca no debe sobrepasar el 0.12 %. Según el INEN (2014, p.4) el contenido límite permisible de porcentaje de cenizas en el almidón es del 2 %, debido a que si el porcentaje excede este valor, la calidad del almidón sería muy deficiente, por lo tanto, al comparar los resultados obtenidos de porcentaje de ceniza, se puede constatar que se encuentra dentro del límite permisible.

3.1.2.3 Solubilidad

Tabla 10-3: Resultados de solubilidad en el almidón de yuca amarilla

N° muestra	Peso tubo (g)	Peso muestra (g)	Volumen (g)	Peso tubo + gel (g)	Peso vaso de precipitado (g)	Peso final vaso + insolubles (g)	Pesos solubles (g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	12.896	1.254	24	19.314	29.648	29.654	0.006	1.440
Muestra 2	12.756	1.250	26.5	17.662	30.230	30.236	0.006	1.590
Muestra 3	12.740	1.252	25.5	19.388	30.298	30.304	0.006	1.530
Promedio								1.520

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 11-3: Resultados de solubilidad en el almidón de pepa de aguacate

N° muestra	Peso tubo (g)	Peso muestra (g)	Volumen (g)	Peso tubo + gel (g)	Peso vaso de precipitado (g)	Peso final vaso + insolubles (g)	Pesos solubles (g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	12.874	1.252	26.5	19.544	36.110	36.122	0.012	3.180
Muestra 2	12.752	1.250	27.5	16.312	28.846	28.856	0.010	2.750
Muestra 3	12.692	1.250	25	18.134	29.774	29.784	0.010	2.500
Promedio								2.810

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En las Tablas 10-3 y 11-3 se reflejan los resultados obtenidos en la determinación de solubilidad en agua del almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, para lo cual se trabajó acorde al peso final de solubles de cada muestra al final del secado, para el cálculo final del porcentaje promedio de solubilidad de cada almidón.

Para esta prueba se realizaron tres repeticiones, mismas que se obtuvo los siguientes resultados: 3.18 %, 2.75 % y 2.5 % para las muestras 1,2 y 3 respectivamente, para el almidón de yuca amarilla, dando un promedio de porcentaje de solubilidad del 1.52 %. Por otro lado, en las muestras de almidón de pepa de aguacate se obtuvo un 3.18 %, 2.75 % y 2.5 % para las muestras 1,2 y 3 respectivamente, dando un promedio de porcentaje de solubilidad de 2.81 %. Según

Aristizábal y Sánchez (2007, p.73) los almidones obtenidos deben encontrarse en un índice de solubilidad en agua de entre 0.27 – 12.32 %, debido a que si presentan un alta solubilidad, los almidones al enfriarse tienden a formar pastas delgadas, por lo que tendría poca estabilidad siendo indicios de un almidón de baja calidad y no apropiado para el proceso. En este caso, los almidones obtenidos a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate se encuentran dentro de los parámetros fijados, siendo un almidón de buena calidad y en condiciones óptimas para el uso en el proceso.

3.1.2.4 pH, viscosidad y temperatura de gelatinización

Tabla 12-3: Resultados de pH, viscosidad y temperatura de gelatinización para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate

Almidón de yuca amarilla		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
pH	H+	8.87
Viscosidad	Cp	7180.7
Temperatura de gelatinización	° C	62
Almidón de pepa de aguacate		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
pH	H+	8.27
Viscosidad	Cp	8772.9
Temperatura de gelatinización	° C	70

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En la Tabla 12-3 se expresan los valores obtenidos en los análisis de pH, viscosidad y temperatura de gelatinización para cada almidón, estos valores se los obtuvieron mediante un medidor de pH, un viscosímetro modelo DV-1 y un termómetro con rango de lectura de 150°C.

Los valores de pH obtenidos para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate son 8.87 y 8.27 respectivamente. Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.90) el pH ayuda a identificar el grado de fermentación que se produce en los almidones, ya que si los pH disminuyen a 4 significa que se produjo una fermentación ácida, motivo por el cual establece que el pH de los almidón de yuca blanca debe estar entre 6-6.5. Se evidencia una variación con respecto a los datos obtenidos en la yuca amarilla y pepa de aguacate debido a que el pH puede variar entre las distintas variedades yuca, de igual manera al extraer el almidón de la pepa de aguacate se utilizó pepas de diferentes variedades de aguacates motivo por el cual también se ve reflejado una variación en los valores obtenidos.

Los valores de viscosidad fueron obtenidos por medio de un viscosímetro medido a 10rpm con la aguja número SPL3, el cual arrojó como resultado una viscosidad de 7180.7 centipoises para el

almidón de yuca amarilla y 8772.9 centipoises para el almidón de aguacate. Como señalan Aristizábal y Sánchez (2007, p.66) el almidón debe encontrarse a una viscosidad de 840-1500Cp, dicho valor cambiará acorde a la capacidad de absorción de agua de cada almidón y también dependerá de la concentración utilizada, en este caso se utilizó una concentración del 5 %.

Por otro lado, la temperatura de gelatinización que se obtuvo en los almidones de yuca amarilla y pepa de aguacate es de 62°C y 70°C respectivamente. La gelatinización es la fase en la que el agua se distribuye por las zonas irregulares del almidón, generándose el hinchamiento del gránulo el cual es irreversible. Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.72) la temperatura del almidón varía entre 57.5-70°C, debido a que con el calentamiento el almidón absorben el agua hasta alcanzar una temperatura crítica, la cual será característica de cada almidón.

3.1.2.5 Contenido de fibra, proteína y amilosa

Tabla 13-3: Porcentaje de fibra, proteína y amilosa en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate

Almidón de yuca amarilla		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Fibra	%	0.153
Proteína	%	0.512
Amilosa	%	23.28
Almidón de pepa de aguacate		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Fibra	%	0.288
Proteína	%	0.256
Amilosa	%	32.14

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 13-3 expresa los resultados de las pruebas de fibra, proteína y amilosa efectuados al almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, cuyo procedimiento de amilosa se realizó mediante el INIAP.

En el análisis de fibra se encontró los siguientes resultados: un contenido de fibra de 0.153 % y 0.288 para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate respectivamente.

Según Aristizábal y Sánchez (2007, p.63) el contenido de fibra en el almidón no debe exceder el 0.30 %, mientras que Martins et al. (2016, p.6) reportaron un contenido de fibra del 0.14 % en la pepa de aguacate. Como se evidencia en ambos casos, hay variaciones entre los resultados obtenidos en los diferentes estudios, debido a la incidencia de la genética del producto y sus

condiciones climáticas, ya que la fibra representa la cantidad de polisacáridos no solubles, tales como la celulosa, hemicelulosa o lignina. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos por lo que se denomina que los almidones poseen una buena calidad.

El contenido de proteína mostró los siguientes valores: un contenido de proteína del 0.512 % y 0.288 % para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, respectivamente. La determinación de contenido de proteína realizada por Martins et al. (2016, p.6) muestra que en su ensayo obtuvo un contenido de 0.075 % de proteína en el almidón de pepa de aguacate, mientras que FUNIBER (2020) señala que el almidón de yuca tiene un contenido de proteína del 0.40 %, estos valores dependerán de acuerdo a la composición de los suelos cultivados, en este caso el contenido de proteína en la pepa de aguacate tiene a ser muy bajo debido a que la pepa es considerada como un desecho.

Estudios realizados por Vargas y Hernández (2013, p.39) señalan que se encontró contenidos de amilosa en la yuca del 20.47 % en la cual analizó cuatro especies de yuca, mientras que en los efectuados por Martins et al. (2016, p.6) se encontró un contenido de amilosa del 21.5 %. El porcentaje de amilosa que se obtuvo para el almidón de yuca amarilla fue de 23.28 % y de 32.14 % para el almidón de pepa de aguacate. Estos valores tienden a variar, debido a que va depender de la variedad o especie que se analice, así como también por la edad del cultivo y las condiciones climáticas de producción.

3.1.2.6 Análisis microbiológico

Tabla 14-3: Análisis microbiológico en el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate

Yuca amarilla		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Escherichia coli	UFC/g	Ausencia
Levaduras y mohos	UFC/g	Ausencia
Coliformes totales	UFC/g	30
Pepa de aguacate		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Escherichia coli	UFC/g	Ausencia
Levaduras y mohos	UFC/g	Ausencia
Coliformes totales	UFC/g	100

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 14-3 muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate por medio del laboratorio SAQMIC. Este análisis reportó el contenido de Escherichia coli, coliformes totales, levaduras y mohos presente en los almidones de yuca amarilla y pepa de aguacate.

El almidón de yuca amarilla presentó un valor de 30 UPC/g de coliformes totales, mientras que presenta ausencia de microorganismos de Escherichia coli, levaduras y hongos. Por otro lado, el almidón de pepa de aguacate presentó un valor de 100 UPC/g de coliformes totales y ausencia para los otros microorganismos. Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2051:1995 establece que el contenido de Escherichia coli debe ser de 0 UFC/g, valor que de igual manera se encuentra en 0 UFC/G en los dos almidones. El contenido de mohos y levaduras establecido en un límite máximo de 500 UFC/g, de igual manera los almidones no presentaron ningún valor para estos microorganismos y por último establece un valor de límite máximo de coliformes totales en 100 UFC/g, valor que de la misma manera acredita que los almidones extraídos se encuentran en óptimas condiciones para su proceso, debido a que todos sus valores se encuentran dentro de los límites permisibles bajo esta norma.

3.1.3 Formulación de biopelículas

En este apartado se presenta los resultados obtenidos en la formulación de las biopelículas, posterior a la caracterización de los almidones. Para ello se realizaron pruebas preliminares en las que se variaron las cantidades utilizadas de los componentes que fueron: almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate, glicerina, ácido acético y agua destilada. Dicho procedimiento se realizó con la finalidad de obtener un patrón de biopelícula, que presente las mejores características, para posteriormente realizar la elaboración de las biopelículas acorde al diseño experimental, de manera que, los datos y resultados obtenidos en la formulación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15-3: Resultados obtenidos en la formulación de biopelículas

Número de formulación	Componentes				
	Almidón de yuca amarilla (g)	Almidón de pepa de aguacate (g)	Glicerina (ml)	Ácido acético (ml)	Agua (ml)
1	2	1	0.5	2	30
2	2.5	0.5	0.5	2	30
3	1.75	0.75	0.75	2	30
4	2	0.25	2	1.75	30
5	2	1.5	2	1.75	30
6	3	0.5	1	1.75	30

7	2	0.25	0.75	3	30
8	2	0.25	1	4	30
9	3	0.5	0.75	7	30
10	3	0.5	1	7	30

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 15-3 muestra las cantidades utilizadas de cada componente en cada formulación, en la que se mantuvo como constante la cantidad de agua y ácido acético para variar la cantidad de glicerina y almidón utilizado.

Las formulaciones 1,2,3 presentaron formación de láminas débiles, de escasa resistencia, en cambio las formulaciones 4,5,6 mostraron elasticidad, pero poca resistencia a la tensión, además que presentaron alta adhesividad al tacto, no siendo apropiadas para su manipulación. Por otro lado, las formulaciones 9,10 no presentaron formación de biopelículas, debido a que la mezcla al exponer al secado natural presentó una masa con roturas. En cambio, las formulaciones 7 y 8, mostraron formación de una biopelícula lisa, flexible y algo resistente mejorando las características presentadas por las otras formulaciones. Entonces se escogió como patrón las dos formulaciones para la elaboración de las biopelículas bajo el diseño experimental.

3.1.4 Elaboración de biopelículas bajo el diseño experimental 2^k

Una vez realizado la formulación de las biopelículas y la obtención del patrón que presentó mejores características en relación a las otras formulaciones. Se procedió a la elaboración de las biopelículas bajo el diseño experimental 2^k, en el cual describe la modificación en las cantidades de dos componentes mientras que los otros permanecen constantes. En este caso, se varió las cantidades utilizadas de plastificante (glicerina) y la cantidad de almidón de aguacate en base a los resultados anteriormente obtenidos.

Los componentes que permanecerán constantes son: almidón de yuca amarilla, ácido acético y agua destilada, para evaluar si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, en este caso se realizarán cuatro tratamientos con 4 repeticiones cada uno, obteniendo 16 muestras en total, de manera que se pueda analizar claramente la biopelícula más aceptable para la aplicación en los alimentos.

Por tal motivo, las cantidades utilizadas de los componentes en los tratamientos se efectuaron de la siguiente manera:

Tratamiento 1 (TP1): 2g de almidón de yuca amarilla, 0.20g de almidón de aguacate, 1ml glicerina, 4ml de ácido acético y 30ml de agua destilada.

Tratamiento 2 (TP2): 2g de almidón de yuca amarilla, 0.25g de almidón de aguacate, 1ml glicerina, 4ml de ácido acético y 30ml de agua destilada.

Tratamiento 3 (TP3): 2g de almidón de yuca amarilla, 0.25g de almidón de aguacate, 0.75ml glicerina, 4ml de ácido acético y 30ml de agua destilada.

Tratamiento 4 (TP4): 2g de almidón de yuca amarilla, 0.20g de almidón de aguacate, 0.75ml glicerina, 4ml de ácido acético y 30ml de agua destilada.

Además, se recolectó datos como el espesor obtenido en cada repetición y aspectos como la transparencia y estabilidad que presentaron las biopelículas, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16-3: Resultado de elaboración de biopelículas por el diseño experimental 2^k

No .	TRATAMIE NTO	VARIABLE	REPETIC IÓN	TEMPERAT URA (°C)	TIEMPO ELABORA CIÓN (min)	SECADO				PES O (g)	ESPES OR (mm)	PRO M (mm)	MOLDE O	FORMA PELÍC ULA	TRANSPARE NCIA	ESTABI LIDAD
						LUGAR	MÉTOD O	TEMPERAT URA (°C)	TIEM PO (h)							
1	TP1	CA1 : CG1	R1	70	5	LABORATO RIO INVESTIGA CIÓN	SECAD O NATUR AL AL AMBI ENTE	20 A 24	72	0.25	0.3	0.35	CIRCUL AR	Cuadrada 2,5x2,5	Es ligeramente opaca con cierta turbidez color café	Muy estable
2			R2		5					0.28	0.4					
3			R3		5					0.28	0.3					
4			R4		5					0.3	0.4					
5	TP2	CA1 : CG2	R1		5					0.226	0.3	0.3			Es ligeramente opaca con cierta turbidez color café	Muy estable
6			R2		5					0.214	0.3					
7			R3		5					0.22	0.2					
8			R4		5					0.246	0.4					
9	TP3	CA2 : CG1	R1		5					0.242	0.2	0.25			Es ligeramente opaca con cierta turbidez color café	Estable
10			R2		5					0.241	0.3					
11			R3		5					0.23	0.2					
12			R4		5					0.224	0.3					
13	TP4	CA2 : CG2	R1		5					0.218	0.3	0.325			Es ligeramente opaca con cierta turbidez color café, presenta burbujas	Estable
14			R2		5					0.212	0.3					
15			R3		5					0.22	0.3					
16			R4		5					0.26	0.4					

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 16-3 muestra los cuatro tratamientos realizados con sus respectivas repeticiones en la elaboración de las biopelículas. Además, presenta los valores de pesos obtenidos en las muestras, temperatura de elaboración que fue a 70°C y secado a temperatura ambiente (20-24°C), el moldeo de las muestras en forma cuadrada en tamaño de 2.5x2.5 cm con sus respectivas observaciones.

Tabla 17-3: Análisis de varianza para el espesor obtenido en la elaboración de biopelículas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.005625	1	0.005625	1.4210526	0.2562716	4.7472253
Columnas	0.000625	1	0.000625	0.1578947	0.6980794	4.7472253
Interacción	0.015625	1	0.015625	3.9473684	0.0702623	4.7472253
Dentro del grupo	0.0475	12	0.0039583			
Total	0.069375	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En la Tabla 17-3 se presenta el análisis de varianza mediante el test ANOVA, en el cual se utilizó un error del 0.05 para analizar si existe diferencias entre los tratamientos conforme al espesor obtenido en las biopelículas. Dando como resultado una interacción de 0.0702 entre los tratamientos, siendo un valor más alto que el error planteado, lo cual nos da como resultado que no existe una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos al modificar las variables mencionadas. Por lo tanto, cualquiera de los tratamientos nos dará un espesor similar, no obstante, para determinar que tratamiento es el mejor, se escogerá el que muestre mejores propiedades, debido a su finalidad que es el recubrimiento de alimentos.

3.1.5 Análisis físico de las biopelículas

3.1.5.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad en la biopelícula se muestra como la cantidad de agua presente por fracción de la muestra, de manera que en la siguiente tabla se muestra los resultados para cada tratamiento realizado.

Tabla 18-3: Contenido de humedad en los cuatro tratamientos

Tratamiento 1					
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso final(g)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	0.230	0.162	0.162	0.162	29.565
Muestra 2	0.220	0.162	0.160	0.160	27.273
Muestra 3	0.221	0.158	0.158	0.158	28.507
Muestra 4	0.219	0.161	0.161	0.161	26.484
Promedio					27.957
Tratamiento 2					

N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso final(g)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	0.201	0.161	0.159	0.159	20.896
Muestra 2	0.197	0.157	0.157	0.157	20.305
Muestra 3	0.200	0.160	0.159	0.159	20.500
Muestra 4	0.198	0.155	0.155	0.155	21.717
Promedio					20.854
Tratamiento 3					
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso final(g)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	0.230	0.156	0.156	0.156	32.174
Muestra 2	0.240	0.159	0.161	0.161	32.917
Muestra 3	0.226	0.149	0.149	0.149	34.071
Muestra 4	0.237	0.160	0.160	0.160	32.489
Promedio					32.913
Tratamiento 4					
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso final(g)	Porcentaje de humedad (%)
Muestra 1	0.250	0.195	0.191	0.191	23.600
Muestra 2	0.238	0.180	0.180	0.180	24.370
Muestra 3	0.241	0.182	0.182	0.182	24.481
Muestra 4	0.247	0.192	0.190	0.190	23.077
Promedio					23.882

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 18-3 muestra el contenido de humedad encontrado en cada una de las repeticiones para cada tratamiento, para este procedimiento se trabajó por el método gravimétrico el cual consiste en determinar la pérdida de peso al final del proceso. Para realizar el proceso de deshidratación de la biopelícula se utilizó una estufa de marca Memmert a 105°C por 24 horas, hasta obtener un peso constante.

En el siguiente gráfico muestra la variación de contenido de humedad en la biopelícula para cada uno de los tratamientos.

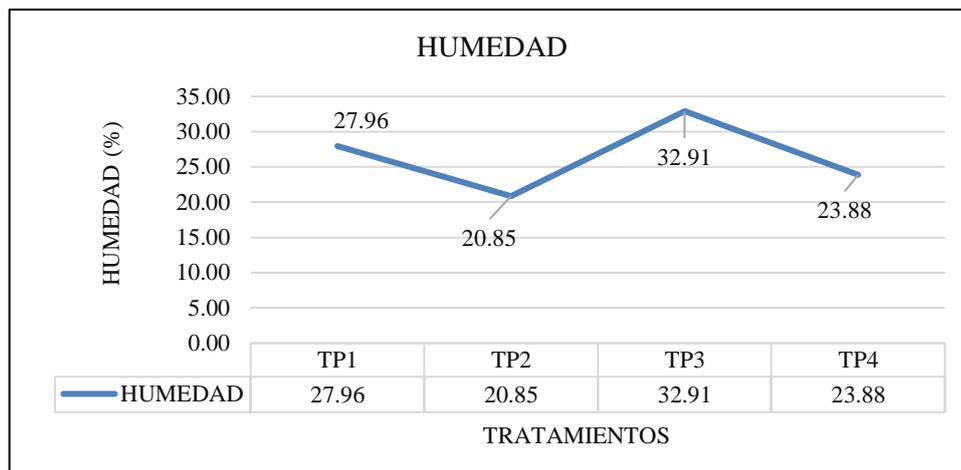


Gráfico 4-3: Análisis gráfico de comportamiento del contenido de humedad en cada biopelícula por tratamiento

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Para el tratamiento 1 se encontró un contenido de humedad promedio del 27.95 %, mientras que el tratamiento 2 presentó un 20.85 %, el tratamiento 3 una humedad del 32.91 % y por último el tratamiento 4 con un 23.882 %.

En el trabajo realizado por Escobar et al. (2009, p.35), al determinar el contenido de humedad en biopelículas, encontró un 22 % de presencia de agua, el cual si lo comparamos con el resultado obtenido, se muestra como un valor cercano a los encontrados en los tratamientos 2 y 4. Mientras que, los tratamientos 1 y 3 muestran un contenido de humedad mayor con respecto a los otros tratamientos, los porcentajes de humedad pueden variar, debido al ambiente de secado de las biopelículas, es decir, si se lo realiza por medio de un equipo como la estufa o de forma natural a temperatura ambiente como es el caso de las biopelículas elaboradas en este trabajo, aunque una de las características de las películas biodegradables es ser sensibles al ambiente y absorber la humedad.

3.1.5.2 Solubilidad en agua

Tabla 19-3: Solubilidad de las biopelículas de cada tratamiento

Tratamiento 1			
Nº de muestra	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	0.204	0.120	41.176
Muestra 2	0.280	0.134	52.143
Muestra 3	0.268	0.140	47.761
Promedio			47.027

Tratamiento 2			
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	0.222	0.130	41.441
Muestra 2	0.202	0.120	40.594
Muestra 3	0.210	0.122	41.905
Promedio			41.313
Tratamiento 3			
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	0.294	0.140	52.381
Muestra 2	0.268	0.132	50.746
Muestra 3	0.290	0.144	50.345
Promedio			51.157
Tratamiento 4			
N° de muestra	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Porcentaje de solubilidad (%)
Muestra 1	0.202	0.114	43.564
Muestra 2	0.188	0.104	44.681
Muestra 3	0.182	0.100	45.055
Promedio			44.433

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 19-3 muestra los porcentajes de solubilidad en agua, obtenidos para las tres muestras de cada tratamiento, procedimiento que se realizó por medio de un agitador a 100rpm y la estufa a 105°C, para la determinación de su peso final mediante el método gravimétrico.

En el siguiente gráfico muestra la variación del porcentaje de solubilidad en la biopelícula para cada uno de los tratamientos.

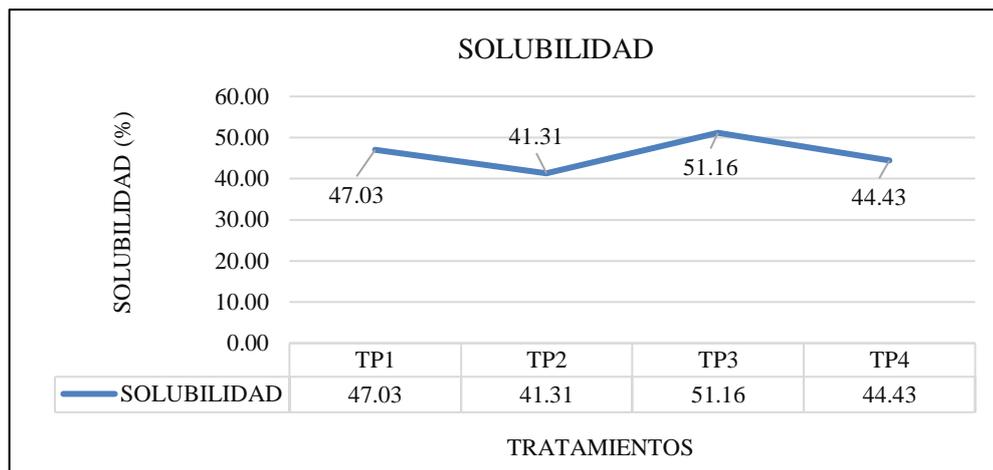


Gráfico 5-3: Análisis gráfico de comportamiento de la solubilidad en cada biopelícula por tratamiento

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En el tratamiento 1 se obtuvo un porcentaje promedio de solubilidad del 47.02 %, en el tratamiento 2 un valor de 41.31 %, para el tratamiento 3 un 51.157 % y para el tratamiento 4 un valor de 44.43 %. Según estudios realizados por Escobar et al. (2009, p.35), en la determinación de la solubilidad de biopelículas, encontró un porcentaje de solubilidad del 39-59.5 %, el cual comparado con los valores obtenidos se encuentran dentro el intervalo, teniendo como resultado una biopelícula apta para el uso en la industria alimentaria, debido a su resistencia y tenacidad ante el agua.

3.1.5.3 Espesor

Tabla 20-3: Espesor de biopelículas para cada tratamiento

No.	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	PROM (mm)
1	TP1	R1	0.3	0.350
2		R2	0.4	
3		R3	0.3	
4		R4	0.4	
5	TP2	R1	0.3	0.250
6		R2	0.3	
7		R3	0.2	
8		R4	0.3	
9	TP3	R1	0.2	0.225
10		R2	0.3	
11		R3	0.2	
12		R4	0.2	
13	TP4	R1	0.3	0.325
14		R2	0.3	
15		R3	0.3	

La Tabla 20-3 presenta los valores obtenidos del espesor para cada muestra de su correspondiente tratamiento, para la medición se utilizó un calibrador digital y manual, mostrando un valor cercano entre los tratamientos.

En el siguiente gráfico se puede observar la variación del espesor en cada una de las repeticiones con respecto a su tratamiento.

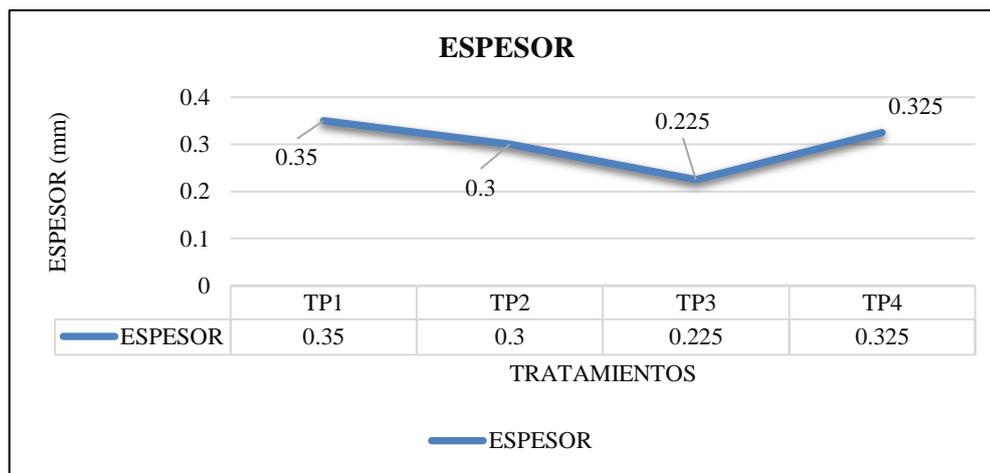


Gráfico 6-3: Análisis gráfico de comportamiento del espesor en cada biopelícula por tratamiento

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En el tratamiento 1 se obtiene un promedio de espesor del 0.35 %, mientras que para el tratamiento 2 un valor de 0.3 %, el tratamiento 3 presenta promedio de 0.25 y por último el tratamiento 4 con un promedio de 0.325 %. La norma de requisitos para láminas plásticas NTE INEN 2635:2012 fijada por (INEN, 2012, p.2), establece el límite máximo de espesor en un valor de 1mm para los ensayos de tracción. Por tal motivo, los tratamientos se encuentran dentro del límite establecido.

3.1.5.4 Permeabilidad al vapor de agua

Tabla 21-3: Pesos en gramos de ensayos de permeabilidad de vapor

Tiempo (horas)	TRATAMIENTOS															
	TP1				TP2				TP3				TP4			
	R1	R2	R3	P	R1	R2	R3	P	R1	R2	R3	P	R1	R2	R3	P
1	33.686	33.630	34.312	33.876	34.690	34.174	34.280	34.381	34.402	34.234	33.782	34.139	34.084	33.760	28.382	32.075
	33.696	33.644	34.322	33.887	34.698	34.182	34.292	34.391	34.412	34.244	33.792	34.149	34.094	33.768	28.388	32.083
2	33.696	33.644	34.322	33.887	34.698	34.182	34.292	34.391	34.412	34.244	33.792	34.149	34.094	33.768	28.388	32.083
	33.700	33.644	34.326	33.890	34.700	34.186	34.292	34.393	34.416	34.250	33.794	34.153	34.094	33.770	28.390	32.085
3	33.700	33.644	34.326	33.890	34.700	34.186	34.292	34.393	34.416	34.250	33.794	34.153	34.094	33.770	28.390	32.085
	33.704	33.646	34.330	33.893	34.706	34.192	34.298	34.399	34.420	34.250	33.796	34.155	34.098	33.772	28.390	32.087
4	33.704	33.646	34.330	33.893	34.706	34.192	34.298	34.399	34.420	34.250	33.796	34.155	34.098	33.772	28.390	32.087
	33.710	33.654	34.334	33.899	34.706	34.192	34.298	34.399	34.424	34.254	33.804	34.161	34.100	33.778	28.392	32.090
5	33.710	33.654	34.334	33.899	34.706	34.192	34.298	34.399	34.424	34.254	33.804	34.161	34.100	33.778	28.392	32.090
	33.714	33.654	34.338	33.902	34.710	34.194	34.302	34.402	34.430	34.260	33.806	34.165	34.102	33.780	28.396	32.093
6	33.714	33.654	34.338	33.902	34.710	34.194	34.302	34.402	34.430	34.260	33.806	34.165	34.102	33.780	28.396	32.093
	33.718	33.662	34.342	33.907	34.712	34.198	34.308	34.406	34.436	34.260	33.810	34.169	34.106	33.782	28.398	32.095

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La tabla 21-3 muestra el peso inicial y final para cada una de las repeticiones de cada tratamiento por un tiempo de 6 horas, además se muestra un promedio de peso entre las repeticiones, en el cual se evidencia un aumento de peso en cada repetición al transcurrir el tiempo determinado.

Tabla 22-3: Porcentaje de permeabilidad obtenido en cada muestra de los diferentes tratamientos

No.	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	PERMEABILIDAD (g/h.m.Mpa)	PROM (g/h.m.Mpa)
1	TP1	R1	0.2	2.54E-04	3.30E-04
2		R2	0.3	3.80E-04	
3		R3	0.3	3.57E-04	
4	TP2	R1	0.2	1.74E-04	2.32E-04
5		R2	0.2	1.90E-04	
6		R3	0.3	3.33E-04	
7	TP3	R1	0.2	2.69E-04	3.03E-04
8		R2	0.3	3.09E-04	
9		R3	0.3	3.33E-04	
10	TP4	R1	0.2	1.74E-04	1.87E-04
11		R2	0.3	2.62E-04	
12		R3	0.2	1.27E-04	

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En la Tabla 22-3 se muestra la permeabilidad al vapor para cada repetición y tratamiento, obtenidos al realizar el cálculo a condiciones de humedad relativa de 75 %, una presión de vapor de 0.00317 Mpa, en un tiempo de 6 horas. Para ello, se tomaron 3 muestras de cada tratamiento y medimos su espesor para el cálculo, en el cual, la permeabilidad es igual, al cociente de la diferencia entre el peso final con el inicial al finalizar las 6 horas, multiplicado para el espesor de la biopelícula, dividido para el tiempo empleado, es decir las 6 horas por la presión de vapor y la diferencia de la humedad relativa del ambiente con la de la cápsula que en este caso fue de (75-0).

En el siguiente gráfico se puede observar la variación de la permeabilidad al vapor en cada una de las repeticiones con respecto a su tratamiento.

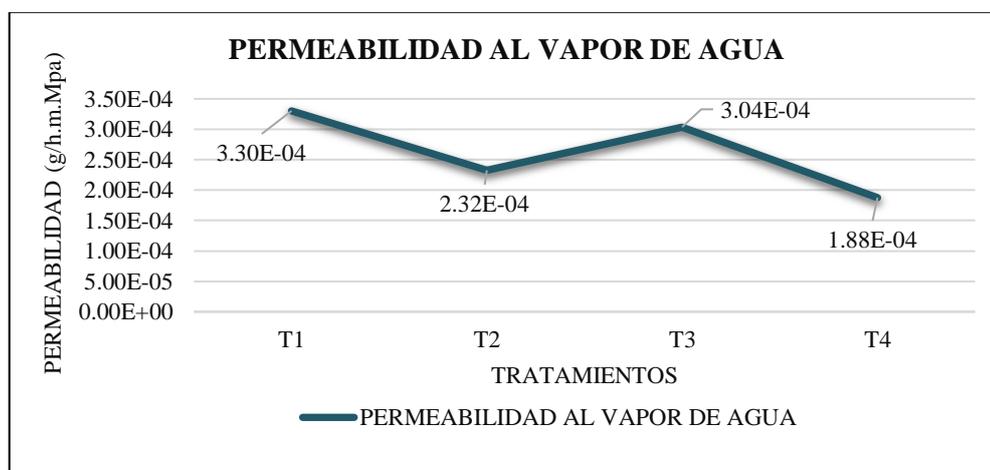


Gráfico 7-3: Análisis gráfico de comportamiento de la permeabilidad al vapor en cada biopelícula por tratamiento

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La permeabilidad mostrada es del 3.30E-04, 2.32E-04, 3.03E-04y 1.87E-04g/h.m. Mpa para el tratamiento 1, 2, 3 y 4 respectivamente. La permeabilidad al vapor se define como la cantidad de masa de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado bajo condiciones de humedad y temperatura. Según investigaciones realizadas por Joaqui y Villada (2013, p.63), se encontró una permeabilidad al vapor de 8.33E-11 g/Pa.s.m para las biopelículas producidas a partir de almidón de yuca, el cual al pasarlo a las unidades en las que se trabajó en esta prueba, obtendríamos un valor de 2.99E-04 g/h.m.Mpa , mismo que resulta similar a los resultados obtenidos. Cabe resaltar que uno de los factores que aumentan la permeabilidad al vapor es el uso de plastificantes, que en este caso es la glicerina, la cual debido a su presencia disminuye las fuerzas intermoleculares del polímero, dando una mayor movilidad a las moléculas y por ende el aumento de la permeabilidad al vapor. Por lo tanto, las biopelículas resultan ser adecuadas para el empleo como envolturas en los alimentos, debido a que las envolturas en lo posible deben evitar la transmisión del vapor de agua del alimento al exterior y viceversa.

3.1.5.5 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad de las biopelículas se evaluó por un tiempo de 28 días bajos tres ambientes diferentes, en el agua, en la tierra y a la intemperie. Para ello se tomó 3 muestras de 3x3cm de cada tratamiento para colocarlas en los ambientes mencionados. La medición del porcentaje de biodegradabilidad se la midió de acuerdo al área de la biopelícula, por medio de la herramienta informática imageJ, la cual nos permite calcular el área de la biopelícula media una fotografía de cada muestra. Para ello, este programa utilizará una escala que nos permitió transformar los pixeles de la imagen a la medida con la que trabajemos, en este caso fueron en milímetros. La toma de fotografías y medición de las muestras se realizaron cada 7 días, tal como se puede observar en las siguientes tablas:

Tabla 23-3: Resultados de biodegradabilidad en agua

AGUA									
N°	DÍA 0	DÍA 7		DÍA 14		DÍA 21		DÍA 28	
	ÁREA INICIAL (cm2)	ÁREA (cm2)	ÁREA (%)						
TP1	9	8.80	2.22	8.72	3.11	7.38	18.00	5.06	43.78
TP2	9	8.79	2.33	8.63	4.11	7.60	15.56	4.02	55.33
TP3	9	8.65	3.89	6.54	27.33	3.96	56.00	1.88	79.11
TP4	9	8.53	5.22	6.15	31.67	4.61	48.78	2.12	76.44

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En la Tabla 23-3 se visualiza el porcentaje de biodegradación en agua de las biopelículas al transcurrir los días para cada tratamiento. En la cual, se observa un mayor porcentaje de biodegradación en los tratamientos TP3 con 79.11 %, mientras que el tratamiento TP1 mostró el menor porcentaje de biodegradación con un 43.78 %, de tal manera que, la biopelícula se degradará en 40 días aproximadamente. Seguidamente, se realiza un análisis de varianza para determinar si existen diferencias entre los tratamientos.

Tabla 24-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad en agua

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	2093.0625	1	2093.0625	2.83643254	0.1179582	4.747
Columnas	3.0625	1	3.0625	0.00415017	0.94969507	4.747
Interacción	11.2896	1	11.2896	0.0152992	0.90360841	4.747
Dentro del grupo	8855.0493	12	737.920775			
Total	10962.4639	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 24-3 muestra el análisis de varianza efectuado entre los cuatros tratamientos, el cual mostró una interacción de 0.9036 el cual resulta ser mayor al error de 0.05, por lo que se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento.

A continuación, se muestra los resultados representados gráficamente.

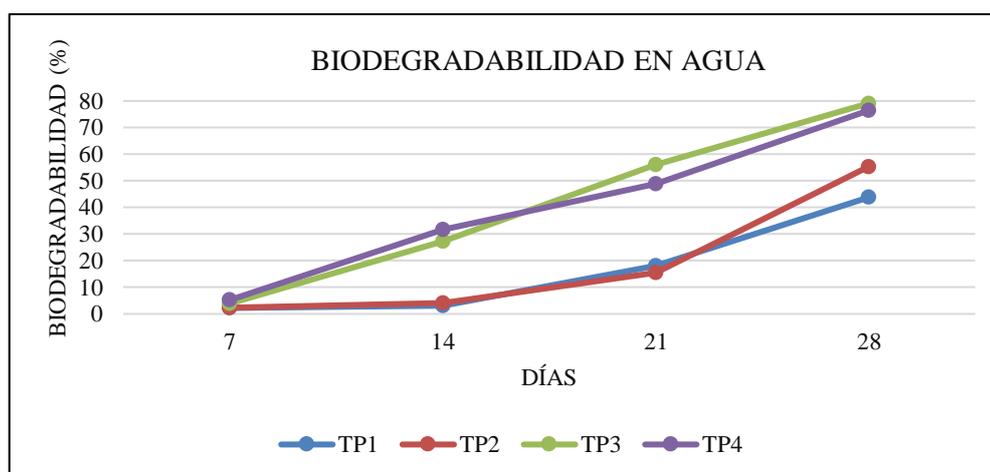
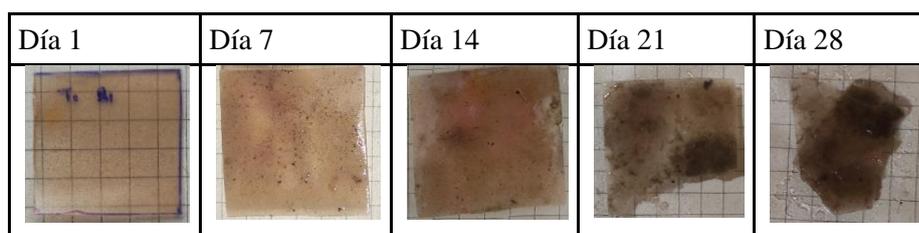


Gráfico 8-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad en agua en cada biopelícula por tratamiento.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 25-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad en agua



Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 26-3: Resultados de biodegradabilidad al ambiente

AMBIENTE									
N°	DÍA 0	DÍA 7		DÍA 14		DÍA 21		DÍA 28	
	ÁREA INICIAL (cm2)	ÁREA (cm2)	ÁREA (%)						
TP1	9	5.69	36.78	5.47	39.22	4.69	47.89	3.69	59.00
TP2	9	7.23	19.67	6.53	27.44	5.69	36.78	3.35	62.78
TP3	9	7.59	15.67	6.85	23.89	4.72	47.56	3.45	61.67
TP4	9	7.68	14.67	4.83	46.33	4.54	49.56	3.72	58.67

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 25-3 se muestra el porcentaje de biodegradabilidad de las biopelículas al exponerlas al ambiente, la cual muestra una biodegradación similar entre los tratamientos al transcurrir los 28 días, siendo el tratamiento TP2 el valor de biodegradabilidad más elevado (62.78 %), mientras que el tratamiento TP4 con el menor valor (58.67%), de manera que, la biopelícula se degradará en un periodo de 50 días aproximadamente. Seguidamente, se realiza un análisis de varianza para determinar si existen diferencias entre los tratamientos.

Tabla 27-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad al ambiente

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<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	8.323225	1	8.323225	0.02624018	0.87401071	4.747225
Columnas	15.563025	1	15.563025	0.0490647	0.82842338	4.747225
Interacción	200.647225	1	200.647225	0.6325695	0.44186271	4.747225
Dentro del grupo	3806.3275	12	317.193958			
Total	4030.86098	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 27-3 muestra el análisis de varianza efectuado entre los cuatros tratamientos, el cual mostró una interacción de 0.6325 el cual resulta ser mayor al error de 0.05, por lo que se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento.

A continuación, se muestra la representación gráfica de los resultados.

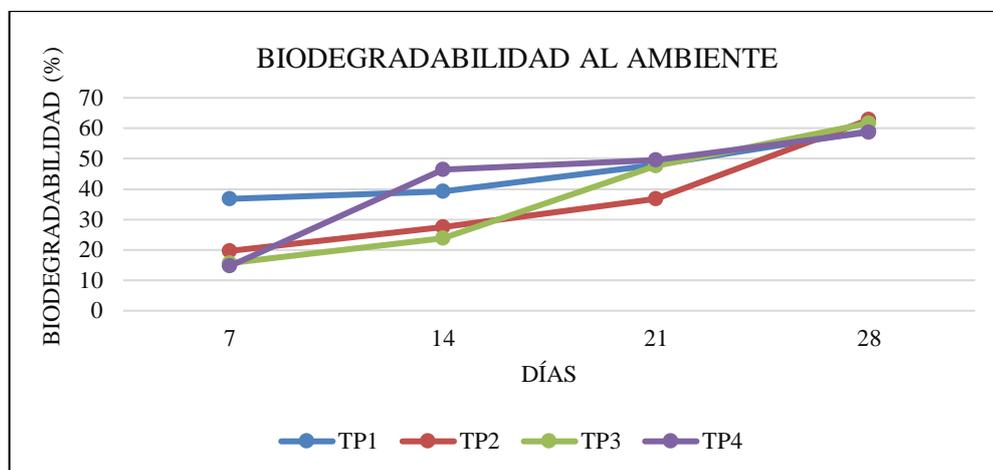
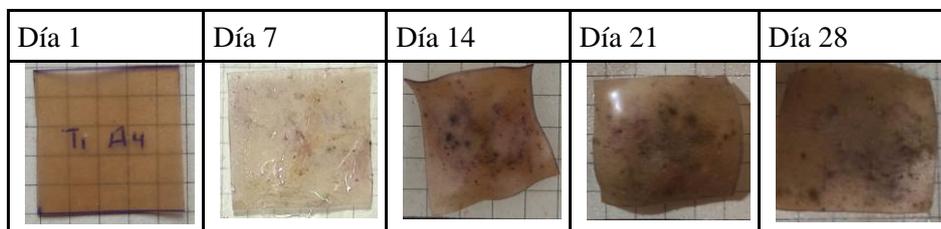


Gráfico 9-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad al ambiente en cada biopelícula por tratamiento.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 28-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad al ambiente



Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 29-3: Resultados de biodegradabilidad en la tierra

TIERRA									
N°	DÍA 0	DÍA 7		DÍA 14		DÍA 21		DÍA 28	
	ÁREA INICIAL (cm2)	ÁREA (cm2)	ÁREA (%)						
TP1	9	8.25	8.33	7.86	12.67	5.13	43.00	2.88	68.00
TP2	9	8.5	5.56	7.49	16.78	5.26	41.56	3.58	60.22
TP3	9	7.32	18.67	6.23	30.78	4.94	45.11	2.76	69.33
TP4	9	7.27	19.22	6.13	31.89	4.26	52.67	2.37	73.67

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 25-3 muestra el porcentaje de biodegradabilidad de las biopelículas en la tierra, luego de haber transcurrido 28 días, se determina que el tratamiento TP4 mostró una mayor

degradabilidad con un 73.67% mientras que el tratamiento que mostró menor biodegradabilidad es el tratamiento TP2 con un 60.22%, de manera que, la biopelícula se degradaría completamente en un periodo de 45 días. Seguidamente, se realiza un análisis de varianza para determinar si existen diferencias entre los tratamientos.

Tabla 30-3: Análisis de varianza de biodegradabilidad en tierra

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	423.1249	1	423.1249	0.7094882	0.41608597	4.7472
Columnas	4.644025	1	4.644025	0.0077870	0.93113825	4.7472
Interacción	21.390625	1	21.390625	0.0358674	0.85295511	4.7472
Dentro del grupo	7156.5652	12	596.38043			
Total	7605.7248	15				

Realizado por: Díaz, C. 2021.

La Tabla 30-3 muestra el análisis de varianza efectuado entre los cuatros tratamientos, el cual mostró una interacción de 0.8529 el cual resulta ser mayor al error de 0.05, por lo que se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento.

A continuación, se presenta la interpretación gráfica de los resultados obtenidos.

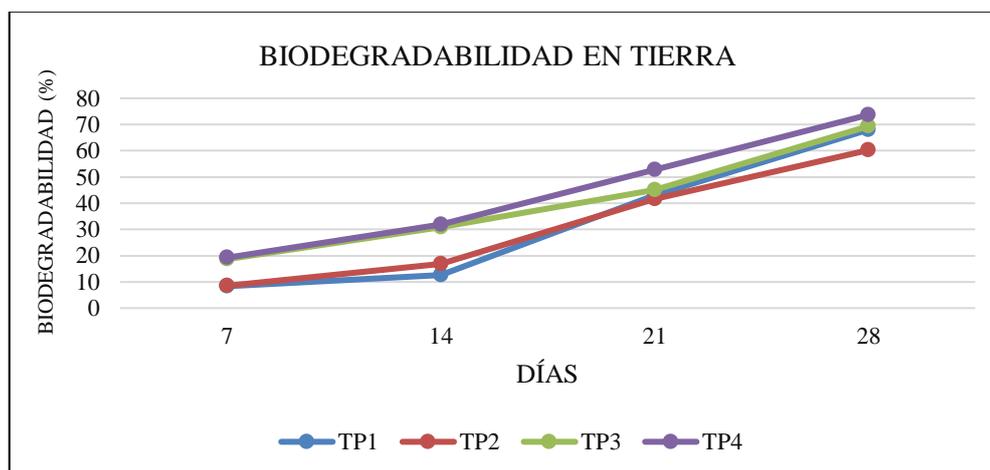
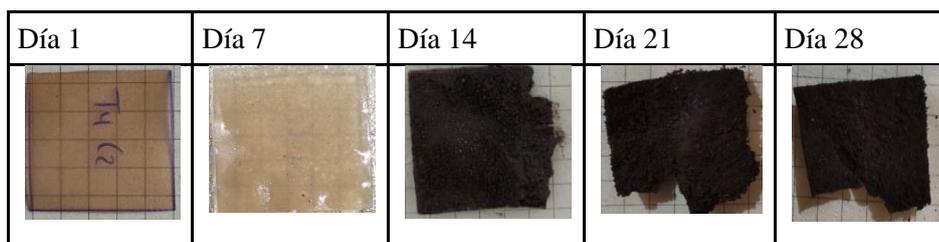


Gráfico 10-3: Análisis gráfico de comportamiento de la biodegradabilidad en tierra en cada biopelícula por tratamiento.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 31-3: Resultado de apariencia de biodegradabilidad en tierra



Realizado por: Díaz, C. 2021.

3.1.5.6 Pruebas de tracción

Las pruebas de tracción se realizaron por medio del Laboratorio de Pruebas Físicas de Cueros y Fibras de la facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, para el cual se llevaron 4 probetas una por cada uno de los tratamientos bajo la norma IUP6, las cuales fueron sometidas a la prueba de tracción por medio de un elastómero el cual reportó los resultados que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 32-3: Resultados de prueba de tracción para muestra de biopelícula por tratamiento

No .	TRATAMIE NTO	ESPE SOR (mm)	ESFUER ZO TENSIO N (MPa)	MÓDU LO TENSI ÓN (Mpa)	ESFUER ZO FLEXIO N (a)	MÓDU LO FLEXI ÓN (Mpa)	ELONGACI ÓN (%)
1	TP1	0.3	2.640	2.842	0.528	2.459	107.5
2	TP2	0.3	4.090	3.475	0.418	4.810	85
3	TP3	0.2	3.370	1.010	0.147	11.222	30
4	TP4	0.3	3.470	1.646	0.234	7.298	47.5

Realizado por: Díaz, C. 2021.

En la Tabla 24-3 se muestran los resultados obtenidos para la prueba de tracción de cada biopelícula por tratamiento, en las que se evaluó el espesor, esfuerzo tensión, módulo tensión, esfuerzo flexión y el porcentaje de elongación, el análisis de los resultados se ve representado por medio de los siguientes gráficos:

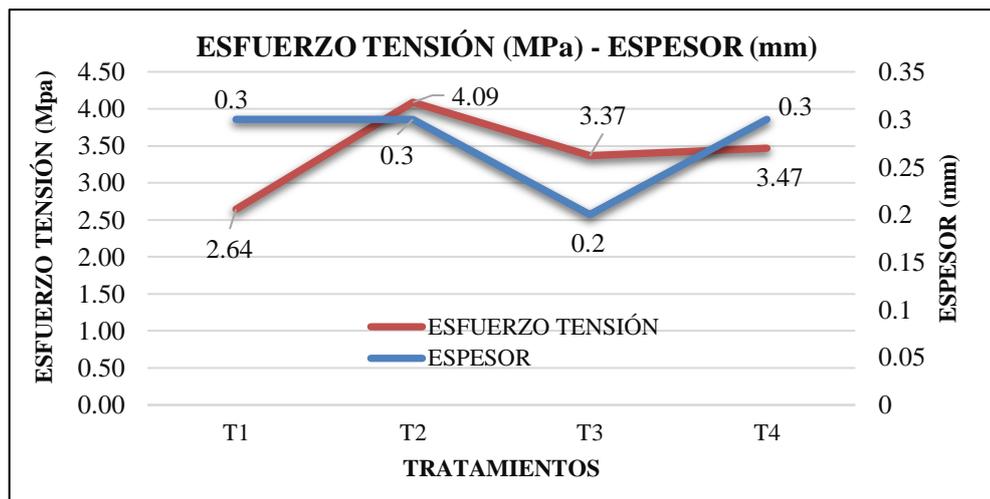


Gráfico 11-3: Análisis gráfico del comportamiento del esfuerzo de tensión con respecto al espesor.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Como se muestra en la Tabla 24-3 el ensayo practicado a las 4 probetas, muestra para el tratamiento 1 un espesor de 0.3mm y un esfuerzo de tensión de 2.64 Mpa, para el tratamiento 2 un espesor de 0.3mm, un esfuerzo de tensión de 4.09 Mpa, en el tratamiento 3 un espesor de 0.2mm, un esfuerzo de tensión de 3.37 Mpa y en el tratamiento 4 un espesor de 0.3mm y un esfuerzo de tensión de 3.47 Mpa. Estos valores representan la resistencia a la tracción del material, en los estudios realizados por Navia et al. (2013, p.80), en el ensayo de tracción para muestras de biopelículas a partir de almidón de yuca, obtuvo un valor de 1.75 MPa en muestras con un espesor de 0.3mm, que es un valor menor a los que presentan los 4 tratamientos, dando hincapié a que las biopelículas obtenidas a partir de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate tiende a ser más resistentes a la tensión, estos valores tienden a variar según la cantidad de plastificante utilizado, debido a que si se aumenta la cantidad de plastificante, estos valores tienden a disminuir debido a que el plastificante que en este caso fue la glicerina son agentes efectivos para suavizar los almidones y mejoran la flexibilidad de las biopelículas, en este caso el tratamiento que mostró un valor mayor al esfuerzo de tensión fue el tratamiento 2 presentando un porcentaje de elongación del 85 %.

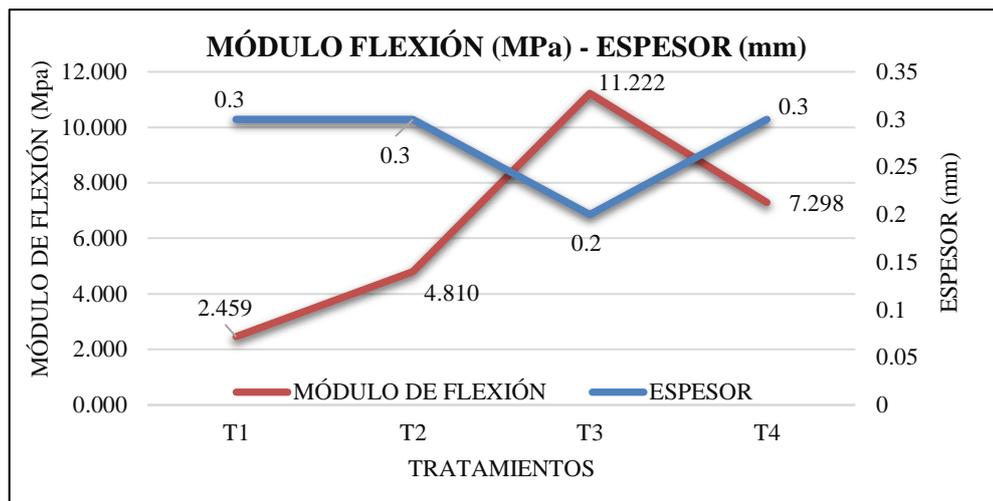


Gráfico 12-3: Análisis gráfico del comportamiento del módulo de flexión con respecto al espesor.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Los resultados emitidos por parte del Laboratorio de Pruebas Físicas determinaron el módulo de flexión para cada biopelícula, estos valores fueron: 2.45 Mpa, 4.81 Mpa, 11.22 Mpa, 7.29 Mpa para el tratamiento 1,2,3 y 4 respectivamente. El módulo de flexión se define como la tendencia de un material a soportar o resistir la flexión en sus puntos máximos de rotura, tomando en cuenta las fuerzas que se aplican de forma perpendicular a su eje longitudinal. Los estudios realizados por Navia et al. (2013, p.80), en la determinación del módulo de flexión de biopelículas a partir de almidón de yuca, mostraron valores entre 1.95 Mpa y 3.5 Mpa estos valores difieren con los encontrados es los tratamientos realizados a las biopelículas obtenidas a partir de almidón de yuca y pepa de aguacate , debido a que dependerá de la materia prima de la que proviene el almidón, ya que estos investigadores señalan que materiales provenientes del almidón de trigo, papa y maíz presentan módulos de flexión entre 1.45Mpa y 3.7 Mpa, los cuales serían similares a los encontrados en su investigación.

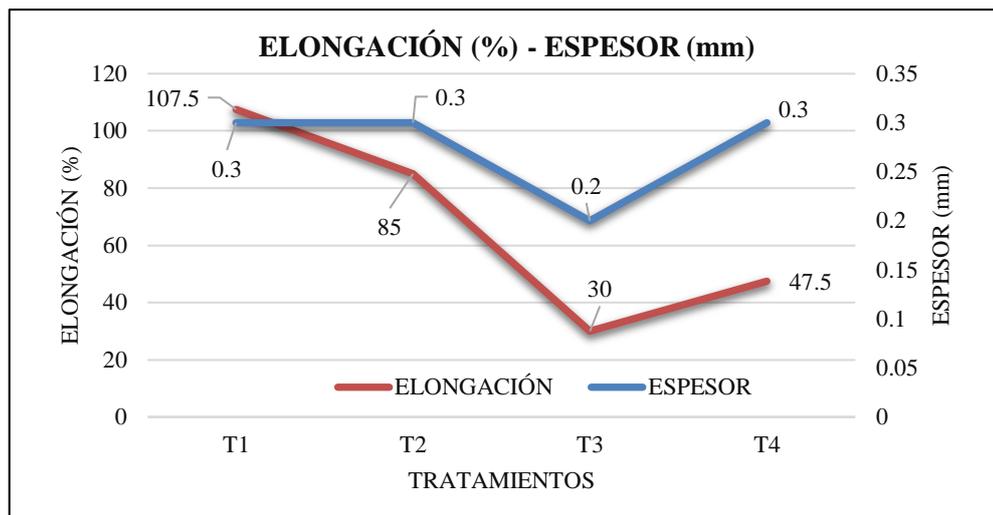


Gráfico 13-3: Análisis gráfico del comportamiento de la elongación con respecto al espesor.

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Los resultados obtenidos en el porcentaje de elongación fueron de 107.5%, 85%, 30% y 47.5% para el tratamiento 1, 2, 3 y 4 respectivamente. La elongación se define como el porcentaje de estiramiento al que se puede llegar sin causar una deformación en la estructura de la muestra, de manera que al estirarse pueda volver a su longitud original luego de dejar de aplicar una tensión. Se observa una diferencia significativa en el porcentaje de elongación entre el tratamiento 1 y 3, mientras que los valores para el tratamiento 3 y 4 son algo cercano, esto se debe al contenido de almidón y glicerina presente en cada tratamiento, en el caso del tratamiento 1, presenta un contenido de almidones de 2g de yuca amarilla, 0.25g de pepa de aguacate y 1ml de glicerina, de manera que, al añadir mayor cantidad de plastificante, la biopelícula adquiere mayor porcentaje de elongación. Dato que se comprueba al analizar el porcentaje de elongación del tratamiento dos el cual se varió la glicerina a 0.85ml y manteniendo las cantidades de almidón para obtener una elongación del 85 %. En los tratamientos 3 y 4 se evidencia una reducción del porcentaje de elongación al disminuir la cantidad de glicerina y aumentar la cantidad de almidón de aguacate.

3.1.5.7 Aplicación de biopelícula en un alimento

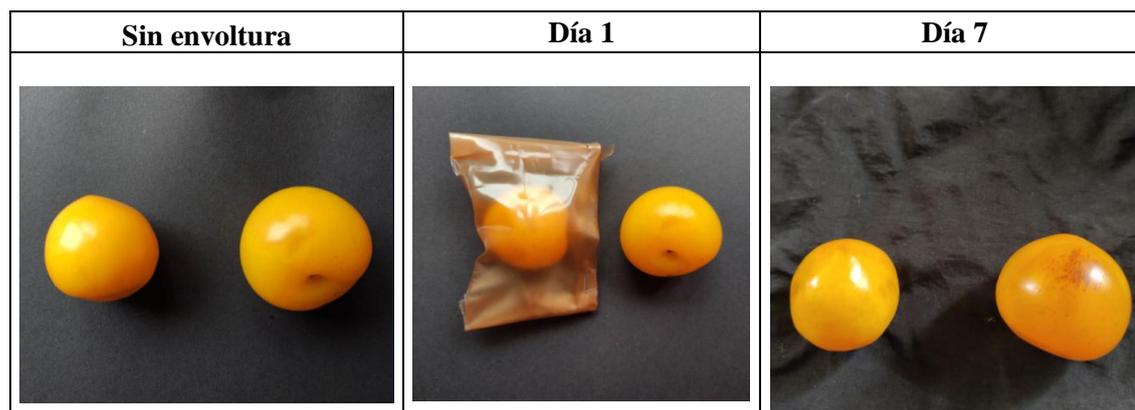
Se utilizó la biopelícula como recubrimiento de una claudia por un periodo de 7 días, para determinar su efectividad en cuanto a la conservación de las propiedades organolépticas de la fruta. La evaluación sensorial realizada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33-3: Análisis sensorial de la claudia tras ser recubierta con la biopelícula de almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate.

PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA CLAUDIA				
Fruta	Olor	Sabor	Textura	Aspecto
Con recubrimiento	Dulce	Dulce	Duro	Firme
Sin recubrimiento	Rancio	Agrio	Suave	Deshidratado

Realizado por: Díaz, C. 2021.

Tabla 34-3: Resultados de apariencia de la fruta luego de una semana



Realizado por: Díaz, C. 2021.

3.2 Pruebas de Hipótesis

3.2.1 Determinación de las características de los almidones extraídos para su aplicación en los alimentos

El almidón de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) y pepa de aguacate (*Persea americana*) fueron extraídos por vía húmeda mediante el uso de una licuadora Oster clásica que trabajó a una velocidad baja de 6800rpm y una velocidad alta de 20000rpm por tiempos de 30 y 60 segundos para obtener un almidón de buenas características y propiedades necesarias para la obtención de las biopelículas de aplicación de envolturas de alimentos. Estos almidones presentaron buenos porcentajes de amilosa y amilopectina que son los polisacáridos que participan en la obtención de los biopolímeros, en este caso el almidón de yuca amarilla presentó un porcentaje de amilosa del 23.28% y 32.14% para el almidón de aguacate.

3.2.2 Determinación de la variación rendimiento del almidón mediante el método de extracción, evaluación de las propiedades de amilosa y amilopectina de los almidones para la elaboración de la biopelícula, formulación de biopelículas a partir del diseño 2^k , conservación de las propiedades de los alimentos con el uso de la biopelícula.

3.2.2.1 Determinación de la variación rendimiento del almidón mediante el método de extracción

Los almidones se extrajeron por vía húmeda, aplicando la variación de velocidad y tiempo de trituración que en el caso de la pepa de aguacate mostró un mayor rendimiento de almidón extraído al usar la velocidad alta por un tiempo de 60 segundos, así como se evidencia en la Tabla 1-3, mostrando diferencias significativas entre cada tratamiento acorde a las condiciones de extracción, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis. En cambio, el almidón de yuca amarilla el mayor rendimiento obtenido se produjo al trabajar una velocidad baja por un tiempo de 60 segundos y en general, por medio de la prueba de varianza no mostró diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis planteada en el caso de la extracción del almidón de yuca amarilla.

3.2.2.2 Evaluación de las propiedades de amilosa y amilopectina de los almidones para la elaboración de la biopelícula

Las pruebas de amilosa realizadas a los almidones fueron determinantes para seleccionar las cantidades a utilizar de cada almidón en la elaboración de las biopelículas. Los resultados mostrados en la Tabla 13-3 en la cual se tuvo un valor de 32.14 y 23.28 % para el almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate respectivamente. El valor restante pertenecerá al porcentaje de amilopectina, en este caso como se quería obtener biopelículas adecuadas para conservar alimentos, se utilizó en mayor proporción el almidón que mayor porcentaje de amilopectina con tenga en su estructura que fue el almidón de yuca amarilla. Por lo tanto, la cantidad de almidón de yuca amarilla utilizado fue de 2g y de 0.20-0.25g de almidón de pepa de aguacate, ya que la amilopectina le brindará cristalinidad a la biopelícula, de manera que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada.

3.2.2.3 Formulación de biopelículas a partir del diseño 2^k

En la elaboración de las biopelículas se aplicó el diseño factorial 2^k en el cual se mantuvo constante los componentes de la biopelícula como el almidón de yuca amarilla, ácido acético y agua destilada, mientras que se varió las cantidades de almidón de pepa de aguacate y glicerina para determinar las características de las biopelículas. Como se señaló en la Tabla 23-1 las características físicas obtenidas en los ensayos de tracción en las que se evidencia que cada tratamiento posee diferentes características en base a su formulación de origen. En este caso, se obtuvo 4 biopelículas con características particulares, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada.

3.2.2.4 Conservación de las propiedades de los alimentos con el uso de la biopelícula.

Las biopelículas obtenidas, fueron caracterizadas por medio de pruebas físicas para determinar si son apropiadas para el uso en la conservación de los alimentos. De manera que, una vez realizada la caracterización la biopelícula con mejores características fue aplicada como envoltura de una fruta por un tiempo de 7 días frente a otra sin envoltura, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 27-3, la cual señala que la biopelícula efectivamente conservó las propiedades organolépticas de la fruta en comparación con la fruta sin recubrir, de modo que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis planteada.

CONCLUSIONES

- Los almidones de yuca amarilla y pepa de aguacate fueron extraídos por vía húmeda, mediante la cual se realizó la selección de la materia prima corroborando que se encuentre en óptimas condiciones para el proceso. Luego se acondicionó la materia prima mediante el cortado y picado para que no hubiera dificultades en la trituración. Al iniciar la extracción, se tomó en cuenta el diseño factorial 2^k planteado en el que se varió la velocidad y tiempo de trituración, por lo que se utilizó la velocidad baja y alta por tiempos de 30 y 60 segundos, para luego filtrar por medio de un cedazo, para la posterior sedimentación en un tiempo de 24 horas, la decantación, el secado a temperatura ambiente, la molienda y el tamizado en las mallas de 300, 150 y 53um para los dos almidones. Al final se determinó los rendimientos obtenidos en cada tratamiento, siendo el tratamiento 3 con el que se obtuvo la mayor cantidad de almidón de yuca amarilla con un rendimiento del 22.98 %, aunque mediante el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Por otro lado, el almidón de pepa de aguacate si mostró diferencias significativas entre cada tratamiento siendo el tratamiento 4 el que brindo el mayor rendimiento con un 17.50 %.
- La caracterización física y química de los almidones se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y algunos parámetros determinados por laboratorios externos, mediante los cuales se obtuvieron valores para el contenido de humedad, ceniza, solubilidad, pH, fibra, proteína, carbohidratos, viscosidad, temperatura de gelatinización, amilosa y además el análisis microbiológico en el cual se midió el contenido microorganismos como Escherichia coli , coliformes totales, mohos y levaduras. La mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los valores de referencia citados, salvo el caso de la viscosidad, pH, fibra y proteína que tienen una gran dependencia de las condiciones de cultivo de la materia prima, así como de las variedades de la misma.
- Se realizaron 4 formulaciones en las que se varió la cantidad de almidón de pepa de aguacate y glicerina, mientras que la cantidad de almidón de yuca amarilla, ácido acético y agua permanecieron constantes. Las biopelículas fueron evaluadas mediante el análisis de varianza el cual mostró una interacción de $0.0702 > 0.05$ que resulta mayor al valor de confianza, por lo que se dedujo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y para determinar que tratamientos resultaron más adecuados para el empleo como embalaje de alimentos, se realizaron pruebas físicas a las biopelículas en las que se midió el contenido de humedad, solubilidad, espesor, permeabilidad al vapor de agua y las pruebas de tracción en las que se determinó el esfuerzo de tensión, módulo de tensión, esfuerzo de flexión, módulo

de flexión y el porcentaje de elongación, tal como se observaron en la Tabla 23-3. Aunque todas las formulaciones presentaron buenas características y estabilidad, el tratamiento que presentó mejores características luego de evaluar sus propiedades fue el tratamiento 4, ya que mantiene un equilibrio en su porcentaje de elongación en 47.5 %, su esfuerzo a la tensión en 3.47 Mpa y módulo de flexión 7.298Mpa. Cabe resaltar que, esta biopelícula se obtuvo con la formulación de 2g de almidón de yuca amarilla, 0.20g de almidón de aguacate, 0.75ml glicerina, 4ml de ácido acético y 30ml de agua destilada, que resultó ser la más apropiada para el uso en los alimentos.

- Se evaluó la eficacia de la biopelícula al ser utilizada como recubrimiento de una fruta que en este caso fue una claudia frente a otra sin recubrimiento, el tiempo de evaluación fue 7 días para posteriormente realizar el análisis organoléptico de las frutas, en el que se observó pérdida de frescura, deshidratación, cambio de color y rasgos de inicio de descomposición en la claudia sin recubrimiento, mientras que la claudia con recubrimiento hermético presentó solidez, firmeza, frescura y ningún indicio significativo de descomposición de la misma, por lo que la biopelícula cumple satisfactoriamente con la conservación de los alimentos debido a sus características que permiten este propósito, una de ellas es la baja permeabilidad al vapor de agua que presentó con un valor de 0.0001875 g/h.m.Mpa que sirve como protección y conserva de las propiedades organolépticas.

RECOMENDACIONES

- En la extracción del almidón de yuca amarilla y pepa de aguacate se recomienda reducir de tamaño la materia prima por medio del picado, para facilitar el proceso de trituración debido a que la pepa de aguacate posee una dureza considerable. Además, para evitar el pardeamiento enzimático de la pepa de aguacate, se recomienda colocar la materia prima picada en una solución de metabisulfito de sodio al 0.2% por un tiempo de 24 horas antes del proceso de trituración.
- En proceso de tamizado fue extenuante debido a que no se cuenta suficientes tamices para acelerar el proceso de tamizaje de almidón, por lo que se recomienda a futuro la adquisición de un equipo que permita realizar este procedimiento con mayor efectividad.
- Al momento de realizar las formulaciones de las biopelículas, se realizan múltiples acciones que pueden afectar las características y performance de las mismas, una de ellas puede ser que se obtienen biopelículas con burbujas o marcas de aire, por lo que se recomienda que al momento de la elaboración no realizarla a altas temperaturas ya que existen compuestos que se pueden volatilizar y son los que generan este problema, de manera que se inicie la gelatinización se homogeniza y enseguida se retire del calor.
- En la elaboración de las biopelículas se utilizaron moldes improvisados, debido a que el laboratorio no cuenta con un equipo apropiado para el mismo, de manera que se recomienda contar con moldes apropiados que permitan tener uniformidad en la formación de la biopelícula, ya que la cantidad de mezcla colocada en el molde en ciertas ocasiones no es uniforme de manera que también puede ser un factor de variación de espesor en los diferentes puntos de la biopelícula.

BIBLIOGRAFÍA

- AGAMA, E.; JUÁREZ, E.; EVANGELISTA, S., ROSALES, O.; & BELLO, L. "Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis". *Agrociencia* [en línea], 2013, (México) 47(1), pp. 1-12. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30225619001>.
- AGUILAR, E.; SEGREDA, A.; SABORIO, D.; MORALES, J.; CHANCÓN, M.; RODRÍGUEZ, L.; ACUÑA, P.; TORRES, S.; & GÓMEZ, Y. *Manual del cultivo de yuca*. San José-Costa Rica: INTA, 2017, ISBN 978-9968-586-16-0, pp. 9-82.
- ARISTIZÁBAL, J.; & SÁNCHEZ, T. "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca". *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* [en línea], 2007, (Italia) (163), pp. 61-91. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISSN 1020-4334. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- BRESSANI, R.; RODAS, B.; & DE RUÍZ, A. *La Composición Química, Capacidad Antioxidativa y Valor Nutritivo de la Semilla de Variedades de Aguacate* [en línea]. Editado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/ Universidad del Valle Guatemala. Marzo 2009, [Consulta: 24 febrero 2021]. Disponible en: <http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt 2006.02.pdf>
- BRITO, H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias*. Riobamba-Ecuador: Docucentro ESPOCH, 2000, pp. 23-34.
- CASTELLS, P. "El almidón". *Investigación y Ciencia* [en línea], 2009, (España) (396), pp. 41-42. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISSN 0210136X. Disponible en: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>. 2009
- CEBALLOS, A.; & MONTOYA, S. "Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2013, (Colombia) 11(1), pp. 103-112. [Consulta: 24 febrero 2021]. ISSN 1692-3561. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a13.pdf>
- ESCOBAR, D.; SILVERA, C.; HARISPE, R.; & MÁRQUEZ, 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, no. 4 (2009), (Uruguay) pp. 33-36. 2009

FUNIBER. "Composición Nutricional de almidón de yuca" [en línea]. *Fundación Universitaria Iberoamericana*, 2020 [Consulta: 7 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.composicionnutricional.com/alimentos/ALMIDON-DE-YUCA-5 2020>

GARBANZO, M. *Manual de Aguacate. Buenas prácticas de cultivo Variedad Hass*. San José-Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011, ISBN 978-9968-877-44-2, pp. 19-64.

GUTIÉRREZ, H.; & DE LA VARA, R. *Análisis y diseño de experimentos*. 2ª ed. México: McGraw Hill, 2008, ISBN 970-10-6526-3, pp. 175-220.

HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. *Atlas del plástico. Datos y cifras sobre el mundo de los polímeros sintéticos* [en línea]. Editado por Fundación Heinrich Böll. Diciembre 2019, [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://sv.boell.org/sites/default/files/2020-04/ATLASDELPLASTICOESPANOL2020.pdf>

HERMIDA, É. *Polímeros*. [en línea]. Argentina: Ministerio de Educación, 2011. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

HERNÁNDEZ, M.; TORRUCO, J.; CHEL, L.; & BETANCOUR, D. "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". *Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2008, (Brasil) 28(3), pp. 718-726. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISSN 0101-2061. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>

INCAP. *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica* [en línea]. 2ª ed. Guatemala: INCAP/OPS, 2012. [Consulta: 24 febrero 2021]. ISBN 9992288027. Disponible en: <http://www.incap.int>

NTE INEN 2635:2012. *Métodos de ensayo para propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas*.

NTE INEN-ISO 3593. *Almidones y féculas. Determinación de cenizas* (ISO 3593:1981, IDT)

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. *Ácido acético. Documentación toxicológica para la actualización del límite de exposición profesional del ácido acético*. [en línea]. España: Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social, 2018. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en:

<https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+119+Ácido+acético++Año+2018.pdf/1d5b5a9a-4438-4105-8b77-3e68196f2701>

JOAQUI, D.; & VILLADA, H. "Propiedades ópticas y permeabilidad al vapor de agua en películas producidas a partir de almidón". *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial* [en línea], 2013, (Colombia) no. 2, pp. 59-68. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>

LAFUENTE, G. *Glicerol: síntesis y aplicaciones* [en línea]. (Maestría) Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España. 2017. pp. 23-28. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf

LÓPEZ, M.; TRIANA, J.; PÉREZ, F.; & TORRES, M. *Métodos físicos de separación y purificación de sustancias orgánicas* [en línea]. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2005. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/436/1/494.pdf>

MARTINS, D.; RAMÍREZ, D.; DE LACERDA, A.; CINTRA, C.; PILER, C.; & RAMÍREZ, J. "Physicochemical properties of starch from avocado seed (Persea Americana Mill)". *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos* [en línea], 2016, (Brasil) vol. 34, pp. 1-12. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325326620_PHYSICOCHEMICAL_PROPERTIES_OF_STARCH_FROM_AVOCADO_SEED_PERSEA_AMERICANA_MILL

MEGHWAL, M.; & GOSWAMI, T. "Evaluation of size reduction and power requirement in ambient and cryogenically ground fenugreek powder". *Advanced Powder Technology* [en línea], 2013, (Japan) no. 24, pp. 427-435. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Murlidhar-Meghwali/publication/216721404_Cryogenic_grinding_of_spices_is_a_novel_approach_whereas_ambient_grinding_needs_improvement/links/5492a9210cf2302e1d073ba0/Cryogenic-grinding-of-spices-is-a-novel-approach-whereas-ambient-grinding-needs-improvement.pdf

MENESES, J.; CORRALES, C.; & VALENCIA, M. "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Revista EIA* [en línea], 2007, (Colombia) no. 8, pp. 57-67. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>

- MUÑOZ, X.; HINOSTROZA, F.; & MENDOZA, M. "La yuca en Ecuador: su origen y diversidad genética". *El misionero del agro* [en línea], 2017, (Ecuador) pp. 1-16. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: http://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas_cientificas/16/058-2017.pdf
- NARANJO, V. "El uso excesivo de los plásticos aumenta la contaminación del ambiente". *El Telégrafo*, (Ecuador) [en línea], 31-12-2019. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/plasticos-contaminacion-ecuador>
- NATUREPLAST. *Historia de los bioplásticos*. [en línea]. Francia: NaturePlast, 2019. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <http://natureplast.eu/es/el-mercado-de-los-bioplasticos/historia-de-los-bioplasticos/>
- NAVIA, P.; VILLADA, S.; & AYALA, A. "Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial* [en línea], 2013, (Colombia) no. 2, pp. 77-84. [Consulta: 11 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa09.pdf>
- NEILA, M. "Las ventajas de los bioplásticos". *Abengoa* [en línea], 2015, (España), p. 1. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.laenergiadelcambio.com/las-ventajas-de-los-bioplasticos/>
- OLIVA, J.; GIACOMAN, G; & PÉREZ, M. "Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico". *Ingeniería* [en línea], 2008, (México) vol. 12, no. 2, pp. 17-29. [Consulta: 27 febrero 2021]. ISSN 1665-529x. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>
- OLIVAS, R.; GASTÉLUM, M.; PÉREZ, A; & TALAMÁS, R. "Desarrollo de un Simulador de Secado para Materiales Biológicos". *Información Tecnológica* [en línea], 2004, (México) vol. 15, no. 2, pp. 41-45. [Consulta: 27 febrero 2021]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000200008. 2004
- "Papa y yuca son tradicionales". *El Diario*, (Ecuador) [en línea], 29-07-2017. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/441902-papa-y-yuca-son-tradicionales/>
- PÉREZ, S.; ÁVILA, G.; & COTO, O. "El aguacatero (Persea americana Mill)". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2015, (Cuba) vol. 36, no. 2, pp. 111-123. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n2/en_ctr16215.pdf

- PONCE, W.; SÁNCHEZ, H.; RIERA, M.; BRITO, B.; & VIERA, W. *Obtención de bioplásticos a partir de residuos de aguacate (Persea Americana Mill)* [en línea]. Ecuador: INIAP, 2020, pp. 2. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5534>
- REYNA, L.; ROBLES, R.; MENDOZA, Y.; & ROMERO, J. "Hidrólisis enzimática del almidón". *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 7 (2004), (Perú) pp. 40-44.
- RIERA, M. A.; & PALMA, R. "Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador". *Avances en Química*, vol. 13 (2018), (Ecuador) pp. 69-78.
- RODRÍGUEZ, E.; SANDOVAL, A.; & FERNÁNDEZ, A. "Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida". *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2007, (Colombia) vol. 36, no. 1, pp. 13-30. [Consulta: 24 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v36n1/v36n1a02.pdf>
- RODRÍGUEZ, F. "Plástico: Composición, usos, tipos y hechos". *Encyclopedia Britannica* [en línea], 2020. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/plastic>.
- SAMANIEGO, J. M. "Biopolímeros: una alternativa a los plásticos derivados del petróleo". *Cultura Científica UTPL* [en línea], 2019, (Ecuador), p 1. Disponible en: <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/2019/04/biopolimeros-una-alternativa-a-los-plasticos-derivados-del-petroleo/>
- SOLANO, L.; ALAMILLA, L.; & JIMÉNEZ, C. "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados". *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea], 2018, (México) vol. 21, no. 2, pp. 30-42. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2018/cqbs182c.pdf>
- SUÁREZ, L.; & MEDEROS, V. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales* [en línea], 2011, (Cuba) vol. 32, no. 3, pp. 27-35. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300004
- VALERO, M.; ORTEGÓN, Y.; & USCATEGUI, Y. "Biopolímeros: avances y perspectivas". *Dyna* [en línea], 2013, (Colombia) vol. 80, no. 181, pp. 171-180. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>

VARGAS, P.; & HERNÁNDEZ, D. "Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria". *Tecnología en Marcha* [en línea], 2013, (Costa Rica) vol. 26, no. 1, pp. 37-45. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835676>

ANEXOS

ANEXO A: Extracción de almidón de yuca amarilla



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Selección de materia prima b) Picado y pesaje c) Trituración d) Sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/15

ANEXO B: Extracción de almidón de yuca amarilla



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Decantado b) Secado c) Tamizado d) Almidón de yuca amarilla	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO C: Extracción de almidón de pepa de aguacate



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Selección de materia prima b) Pelado de cáscara c) Picado y pesaje d) Sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO D: Extracción de almidón de pepa de aguacate



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Previo a decantar b) Secado c) Tamizado d) Almidón de pepa de aguacate	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO E: Caracterización fisicoquímica del almidón de yuca amarilla



a)



b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de contenido de humedad b) Determinación de cenizas c) Determinación de pH	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO F: Caracterización fisicoquímica del almidón de yuca amarilla



a)



b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de solubilidad b) Determinación de viscosidad c) Determinación de temperatura de gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO G: Caracterización fisicoquímica del almidón de pepa de aguacate



a)



b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de contenido de humedad b) Determinación de cenizas c) Determinación de pH	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO H: Caracterización fisicoquímica del almidón de pepa de aguacate



a)



b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de solubilidad b) Determinación de viscosidad c) Determinación de temperatura de gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO I: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS Y PRUEBAS FÍSICAS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Preparación de mezcla de biopelícula b) Formulaciones c) Obtención de biopelícula d) Medida de espesor	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO J: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS Y PRUEBAS FÍSICAS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de contenido de humedad b) Agitación de muestras para la determinación de solubilidad c) Preparación de muestras para la determinación de permeabilidad al vapor de agua d) Pesaje de muestras de permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO K: Elaboración de biopelículas y pruebas físicas



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Cristian Mauricio Díaz Cuascota	ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS Y PRUEBAS FÍSICAS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Determinación de biodegradabilidad b) Biodegradabilidad de biopelícula en agua luego de 28 días c) Prueba de tracción d) Aplicación de la biopelícula en un alimento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobado ➤ Certificado ➤ Por aprobar ➤ Por calificar ➤ Por verificar 		1	1:1	2020/03/14

ANEXO L: Análisis microbiológico de almidón de yuca amarilla



RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE ALMIDÓN

NOMBRE: Cristian Mauricio Díaz Cuascota
TIPO DE MUESTRA: Almidón de yuca amarilla
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 2021-01-06
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 2021-01-20

Examen Físico

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

Examen Microbiológico

ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>)			
Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	200 000-300 000	30
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).

Atentamente

Dra. Gina Álvarez Reyes
RESPONSABLE TECNICO



ANEXO M: Análisis microbiológico de almidón de pepa de aguacate



RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRA DE ALMIDÓN

NOMBRE: Cristian Mauricio Díaz Cuascota
TIPO DE MUESTRA: Pepa de aguacate
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 2021-01-06
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 2021-01-20

Examen Físico

COLOR: Cafe.
OLOR: Inoloro.
ASPECTO: Polvo.

Examen Microbiológico

ALMIDÓN DE PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>)			
Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	200 000-300 000 UFC/g	100
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).

Atentamente

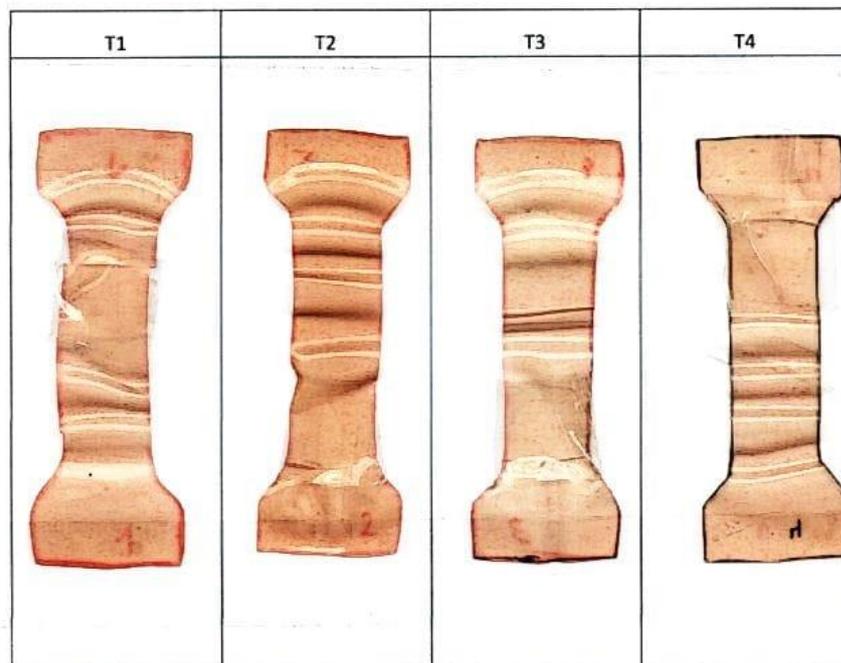
Dra. Gina Alvarez Reyes
RESPONSABLE TECNICO



ANEXO N: Informe de pruebas de tracción



MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (*Manihot esculenta*)
Y PEPA DE AGUACATE (*Persea americana*)



HOJA TÉCNICA: MUESTRAS DE BIOPELÍCULAS DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA Y PEPA DE AGUACATE

PRUEBA	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL SUGERIDO
Resistencia a la tensión (N/cm ²)	T1	IUP6	264.44	800
	T2		408.99	
	T3		224.44	1500
	T4		346.67	
Elongación (%)	T1	IUP6	107.5	40
	T2		85	
	T3		30	80
	T4		47.5	

Panamericana Sur Km 1 ½ Teléfono: 593(03)2998350 EXT: 350 Dec., 152 Vice.
Mail: Laboratorio.Irtce@gmail.com





LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS

OBSERVACIONES:

- Muestreo realizado de acuerdo con la norma IUP 6.
- El equipo utilizado para este ensayo de Resistencia a la Tensión es un dinamómetro.
- Los resultados de las pruebas en el Laboratorio de Curtiembre son obtenidos de las muestras proporcionadas por nuestro cliente.

FECHA DE ENTREGA: 9 de marzo del 2021.

ENTREGO CONFORME



ING. JULIO CESAR LLERENA ZAMBRANO

RECIBI CONFORME

CRISTIAN DÍAZ



ANEXO O: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 1
REALIZADO POR	DÍAZ CUASCOTA CRISTIAN MAURICIO
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>) Y PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PELÍCULA BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLÁSTICO
TRATAMIENTO	1
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021-02-26
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFE CLARO
ESPESOR (mm)	0,3
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	279
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	4.5
CARGA MÁXIMA (N)	11.9
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	2.64
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN (%)	107.5

Aprobado por



ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

ANEXO P: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 2

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 2
REALIZADO POR	DÍAZ CUASCOTA CRISTIAN MAURICIO
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>) Y PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PELÍCULA BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLASTICO
TRATAMIENTO	2
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 02-26
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFE CLARO
ESPESOR (mm)	0,3
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	275
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	4.5
CARGA MÁXIMA (N)	18.4
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	4.08
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	85.0

Aprobado por

ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

ANEXO Q: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 3

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 3
REALIZADO POR	DÍAZ CUASCOTA CRISTIAN MAURICIO
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>) Y PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PELÍCULA BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLASTICO
TRATAMIENTO	3
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 02-26
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFE CLARO
ESPESOR (mm)	0,2
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	275
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	3
CARGA MÁXIMA (N)	10.1
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3.36
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	30

Aprobado por

ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

ANEXO R: Informe de prueba de tracción de biopelícula de tratamiento 4

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	N° 4
REALIZADO POR	DÍAZ CUASCOTA CRISTIAN MAURICIO
TEMA DE TESIS	"OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA AMARILLA (<i>Manihot esculenta</i>) Y PEPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i>) PARA EL USO EN ALIMENTOS"
TIPO DE MATERIAL	PELÍCULA BIODEGRADABLE
MATERIAL	PLASTICO
TRATAMIENTO	4
REPETICIÓN	1
FECHA DE FABRICACIÓN	2021 - 02-26
CARACTERÍSTICA DE COLOR	LÁMINA COLOR CAFE CLARO
ESPESOR (mm)	0,3
ANCHURA (mm)	15
LONGITUD INICIAL (mm)	275
SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	4.5
CARGA MÁXIMA (N)	15.6
ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	3.46
PORCENTAJE DE ELONGACIÓN	47.5

Aprobado por



ING. JULIO LLERENA



TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE Y FIBRAS AGROINDUSTRIALES

ANEXO S: Resultados de prueba de amilosa y humedad

MC-LSAIA-2201-03

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

INFORME DE ENSAYO No: 21-028

<p>NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Cristian Mauricio Díaz Cuascota DIRECCIÓN: Tabacundo FECHA DE EMISIÓN: 3 de febrero de 2021 FECHA DE ANÁLISIS: Del 25 enero al 2 de febrero de 2021</p>	<p>INSTITUCIÓN: Particular ATENCIÓN: Sr. Cristian Mauricio Díaz Cuascota FECHA DE RECEPCIÓN.: 25/01/2021 HORA DE RECEPCIÓN: 09H30 ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa</p>
--	---

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^Ω				IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04				
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970					
UNIDAD	%	%				
21-0248	12,43	23,28				Almidón de yuca amarilla
21-0249	12,43	32,14				Almidón de pepa de aguacate

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME


Dr. Iván Salamanca
RESPONSABLE TÉCNICO




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.