



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE
TRITICALE Y DE CASCARILLA DE ARROZ PARA SU
APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS**

Trabajo de Integración Curricular:

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

AUTORA: JACQUELINE MARISOL GUAMÁN SAGÑAY

DIRECTORA: ING. VIOLETA MARICELA DALGO FLORES Mgs.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2021, **Jacqueline Marisol Guamán Sagñay**

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

Yo, JACQUELINE MARISOL GUAMÁN SAGÑAY, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de abril de 2022.



Jacqueline Marisol Guamán Sagñay

065007787-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUIMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Trabajo Experimental, **OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRITICALE Y DE CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS**, realizado por la señorita: **JACQUELINE MARISOL GUAMÁN SAGÑAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Verónica Mercedes Cando Brito, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>2022-04-20</u>
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores, Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		<u>2022-04-20</u>
BQCL. Mishell Carolina Moreno Samaniego, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>2022-04-20</u>

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios, por ser mi fuerza e inspiración para culminar con éxitos este proyecto. Así como también a mis padres Alfredo y Marina, y hermanos por brindarme su apoyo de manera incondicional y siempre motivarme con palabras de aliento para superarme día a día, a mis sobrinos por siempre dibujar una sonrisa en mi rostro.

Jacqueline

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por ser mi guía, por darme inteligencia y sabiduría a lo largo de mis estudios universitarios. De la misma manera agradezco a mis padres, hermanos, sobrinos y demás familiares, por su paciencia, apoyo y sacrificio, por ser mis motores principales para culminar con este trabajo. A mi tutora de tesis ING. Violeta Dalgo y a la BQCL. Mishell Moreno, por compartirme sus conocimientos, haberme ayudado y orientado en el desarrollo de esta investigación, junto con aquellos docentes que han contribuido de una u otra forma en la culminación de este proyecto.

Jacqueline

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Trigo	5
1.3. Centeno	5
1.4. Triticale.....	6
1.4.1. <i>Historia y origen</i>	7
1.4.2. <i>Distribución</i>	7
1.4.3. <i>Composición química de las semillas de triticale</i>	7
1.4.4. <i>Clasificación del triticale</i>	8
1.4.5. <i>Usos del triticale</i>	8
1.5. Cascarilla de Arroz	9
1.5.1. <i>Composición</i>	9
1.5.2. <i>Principales características</i>	10
1.5.3. <i>Usos de la cascarilla de arroz</i>	10
1.5.3.1. <i>Utilización como combustible</i>	10
1.5.3.2. <i>Utilización como abono</i>	10
1.5.3.3. <i>Utilización para la elaboración de envases biodegradables</i>	10
1.6. Polisacáridos	11
1.6.1. <i>Almidón</i>	11
1.6.1.1. <i>Componentes del almidón</i>	11
1.6.1.2. <i>Propiedades del Almidón</i>	12

1.7.	Biodegradable	13
1.8.	Bioplásticos	14
1.8.1.	<i>Generalidades</i>	14
1.8.2.	<i>Aditivos usados para la elaboración de los bioplásticos</i>	14
1.8.2.1.	<i>Glicerina (C₃H₈O₃)</i>	14
1.8.2.2.	<i>Agua destilada</i>	15
1.8.2.3.	<i>Ácido acético (C₂H₄O₂)</i>	15
1.8.3.	Propiedades	15
1.8.3.1.	<i>Propiedades Mecánicas</i>	15
1.8.3.2.	<i>Propiedades Físicas</i>	16
1.8.3.3.	<i>Propiedades Químicas</i>	16
1.8.3.4.	<i>Propiedades Funcionales</i>	16
1.8.4.	Clasificación	16
1.8.5.	Importancia	17
1.8.6.	Aplicaciones Industriales de los bioplásticos	18

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	19
2.1.	Lugar de la Investigación	19
2.2.	Tipo y Diseño de Investigación	19
2.2.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	19
2.2.2.	<i>Diseño de Investigación</i>	19
2.3.	Diseño Experimental	19
2.4.	Población y Muestra	21
2.4.1.	<i>Población de Estudio</i>	21
2.4.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	21
2.4.3.	<i>Método de muestreo</i>	21
2.4.4.	<i>Criterios de selección de la muestra</i>	21
2.5.	Planteamiento de las Hipótesis	22
2.5.1.	<i>Hipótesis 1</i>	22
2.5.2.	<i>Hipótesis 2</i>	22
2.6.	Identificación de Variables	22
2.7.	Materiales, equipos y reactivos	23
2.7.1.	<i>Materia prima</i>	23
2.7.2.	<i>Materiales</i>	23
2.7.3.	<i>Reactivos</i>	23

2.7.4.	<i>Equipos</i>	24
2.8.	Procedimiento Experimental	24
2.8.1.	<i>Extracción de almidones</i>	24
2.8.2.	<i>Ensayos para la caracterización de los almidones obtenidos</i>	25
2.8.2.1.	<i>Identificación de almidón – Prueba de Lugol</i>	25
2.8.2.2.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	26
2.8.2.3.	<i>pH</i>	26
2.8.2.4.	<i>Índice de solubilidad en agua</i>	26
2.8.2.5.	<i>Viscosidad de Brookfield</i>	27
2.8.2.6.	<i>Contenido de humedad</i>	27
2.8.2.7.	<i>Contenido de cenizas</i>	28
2.8.2.8.	<i>Densidad aparente</i>	28
2.8.2.9.	<i>Análisis de amilosa</i>	29
2.8.2.10.	<i>Determinación de proteína</i>	29
2.8.2.11.	<i>Determinación de grasa</i>	30
2.8.2.12.	<i>Determinación de fibra</i>	30
2.8.2.13.	<i>Análisis microbiológico de los almidones</i>	31
2.8.3.	<i>Obtención del bioplástico</i>	31
2.8.4.	<i>Caracterización del bioplástico</i>	33
2.8.4.1.	<i>Humedad para las biopelículas</i>	33
2.8.4.2.	<i>Solubilidad en agua</i>	33
2.8.4.3.	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	33
2.8.4.4.	<i>Pruebas mecánicas</i>	34
2.8.4.5.	<i>Análisis microbiológico del bioplástico</i>	34
2.8.4.6.	<i>Ensayos de biodegradabilidad</i>	34
2.8.4.7.	<i>Aplicación de la biopelícula</i>	35

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
3.1.	Almidón de triticale y cascarilla de arroz	36
3.1.1.	<i>Rendimiento de extracción del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz</i>	36
3.1.2.	<i>Análisis fisicoquímico del almidón de triticale y cascarilla de arroz</i>	39
3.1.3.	<i>Análisis microbiológico de los almidones</i>	41
3.2.	Formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2^k	42
3.3.	Características físicas del bioplástico	42
3.3.1.	<i>Bioplástico de Triticale</i>	43

3.3.2.	<i>Bioplástico de la Cascarilla de arroz</i>	44
3.4.	Ensayos para la elaboración del bioplástico de triticale y cascarilla de arroz	45
3.4.1.	<i>Formulación óptima del bioplástico</i>	45
3.4.2.	<i>Características físicas de los bioplásticos</i>	45
3.4.3.	<i>Caracterización del bioplástico</i>	47
3.4.3.1.	<i>Contenido de humedad</i>	47
3.4.3.2.	<i>Ensayo de Solubilidad</i>	48
3.4.3.3.	<i>Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua</i>	49
3.4.3.4.	<i>Ensayo de espesor del bioplástico</i>	51
3.4.3.5.	<i>Caracterización mecánica del bioplástico</i>	51
3.4.4.	<i>Resultados del análisis microbiológico del bioplástico</i>	53
3.5.	Ensayo de biodegradabilidad de los bioplásticos	54
3.5.1.	<i>Biodegradabilidad en el suelo</i>	54
3.5.2.	<i>Biodegradabilidad en agua</i>	56
3.6.	Aplicación del bioplástico como empaque de alimentos	59
3.6.1.	<i>Empacado de uvas (Vitis vinífera) almacenadas al ambiente</i>	59
3.6.2.	<i>Empacado de uvas (Vitis vinífera) almacenadas en refrigeración</i>	63
3.7.	Comprobación de las Hipótesis	67
3.7.1.	<i>Hipótesis 1</i>	67
3.7.1.	<i>Hipótesis 2</i>	68
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	72
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Composición química del grano de trigo.....	5
Tabla 2-1:	Composición química del centeno.....	6
Tabla 3-1:	Composición química del grano de triticale en base seca	7
Tabla 4-1:	Composición química de la cascarilla de arroz	9
Tabla 5-1:	Aplicaciones industriales de los biopolímeros	18
Tabla 1-2:	Diseño factorial 2 ² del almidón	20
Tabla 2-2:	Diseño factorial 2 ² del bioplástico	20
Tabla 3-2:	Identificación de variables.....	22
Tabla 1-3:	Rendimiento de extracción del almidón de triticale	36
Tabla 2-3:	Rendimiento de extracción del almidón de la cascarilla de arroz.....	37
Tabla 3-3:	Análisis fisicoquímico del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz.....	39
Tabla 4-3:	Análisis microbiológico del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz	41
Tabla 5-3:	Concentración de los componentes para la elaboración del biofilm	42
Tabla 6-3:	Características físicas del bioplástico de Triticale.....	43
Tabla 7-3:	Características físicas del bioplástico de la Cascarilla de arroz	44
Tabla 8-3:	Formulación óptima del bioplástico a partir del almidón de triticale y cascarilla de arroz	45
Tabla 9-3:	Características físicas del bioplástico a partir del almidón de triticale y cascarilla de arroz	46
Tabla 10-3:	Resultados del ensayo de humedad del bioplástico.....	47
Tabla 11-3:	Resultados del ensayo de solubilidad del bioplástico.....	48
Tabla 12-3:	Resultados del ensayo de permeabilidad al vapor de agua del bioplástico	49
Tabla 13-3:	Resultados del ensayo de espesor.....	51
Tabla 14-3:	Resultados de la caracterización mecánica de los bioplástico a base de triticale y de cascarilla de arroz.....	51
Tabla 15-3:	Análisis microbiológico del bioplástico	53
Tabla 16-3:	Resultados de la biodegradación de las láminas en el suelo.....	54
Tabla 17-3:	Resultados de la biodegradación de las láminas en agua	57
Tabla 18-3:	Empacado de uvas almacenadas al ambiente	60
Tabla 19-3:	Empacado de uvas almacenadas en refrigeración	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Triticale.....	6
Figura 2-1:	Cascarilla de arroz.....	9
Figura 3-1:	Estructura molecular de la amilosa.	12
Figura 4-1:	Estructura molecular de la amilopectina.	12
Figura 5-1:	Estructura molecular del agua.....	15
Figura 6-1:	Estructura molecular del ácido acético.	15
Figura 7-1:	Clasificación de los bioplásticos según el origen de su materia prima.	17
Figura 1-2:	Esquema del diseño factorial 2^2	20
Figura 2-2:	Extracción del almidón a partir de triticale y cascarilla de arroz.	25
Figura 3-2:	Obtención de bioplástico.....	32
Figura 1-3:	ANOVA para el triticale.	67
Figura 2-3:	ANOVA para la Cascarilla de arroz.	67
Figura 3-3:	ANOVA para el análisis de humedad.	68
Figura 4-3:	ANOVA para el análisis de solubilidad.....	68
Figura 5-3:	ANOVA para el análisis de permeabilidad.....	69
Figura 6-3:	ANOVA para el análisis del espesor.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Resultados del rendimiento del almidón de triticale.	38
Gráfico 2-3:	Resultados del rendimiento del almidón de cascarilla de arroz.	38
Gráfico 3-3:	Porcentaje de humedad de las biopelículas.	47
Gráfico 4-3:	Porcentaje de solubilidad en el agua de las biopelículas.	49
Gráfico 5-3:	Permeabilidad al vapor de agua (WVP).	50
Gráfico 6-3:	Propiedades de tracción de los bioplásticos.	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Índice de solubilidad en agua.....	27
Ecuación 2-2:	Contenido de humedad	27
Ecuación 3-2:	Contenido de cenizas	28
Ecuación 4-2:	Densidad aparente.....	28
Ecuación 5-2:	Porcentaje de proteína.....	29
Ecuación 6-2:	Porcentaje de grasa	30
Ecuación 7-2:	Porcentaje de fibra	31
Ecuación 8-2:	Porcentaje de solubilidad de las biopelículas	33
Ecuación 9-2:	Permeabilidad al vapor de agua	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN Y OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LOS ALMIDONES

ANEXO C: ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES

ANEXO E: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN

ANEXO F: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

ANEXO G: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL DEL ALMIDÓN

ANEXO H: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ALMIDONES

ANEXO I: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FEDNA	Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
EN	Norma Europea
LENMAV	Laboratorio de ensayos de materiales
SAQMIC	Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Agua y Alimentos

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo obtener bioplásticos a partir del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz para su aplicación como empaque de alimentos. Se inició con la extracción del almidón por vía húmeda, obteniendo un rendimiento de 50,73% para el triticale y de 5,22% para la cascarilla de arroz. Se realizó la caracterización fisicoquímica del almidón, seguido del proceso de formulación de los bioplásticos en base al diseño factorial 2k, el cual dio lugar a cuatro tratamientos cada uno con cuatro repeticiones. Para cada tratamiento se varió la concentración de almidón y glicerina, pero se mantuvieron constantes la cantidad de agua y ácido acético. Mediante los ensayos fisicoquímicos y mecánicos se determinó la formulación óptima, siendo esta la lámina FM1. Para la elaboración de esta biopelícula se combinó 2,80 g de almidón, 0,80 mL de glicerina, 2,00 mL de ácido acético, y 30,00 mL de agua destilada. La biodegradabilidad de los bioplásticos se efectuó en medio acuoso y bajo tierra, en base a la Norma Europea (EN) 13432 se determinó que la degradación en medio acuoso fue más eficiente, ya que las láminas se degradaron en 33 días. El análisis microbiológico reportó que el bioplástico se encuentra libre de microorganismos patógenos. Además, se determinó el tiempo de vida útil de las uvas (*Vitis vinífera*) empacadas con el biopolímero obtenido y almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración (4°C). Se concluye que el bioplástico cumple con funciones similares a las del plástico proveniente del petróleo, por lo tanto, la biopelícula es útil para el empaque alimentos. Se recomienda utilizar materias primas con alto contenido de amilosa para obtener bioplásticos con mejores propiedades de tracción.

Palabras clave: <BIOPLÁSTICO>, <ALMIDÓN>, <TRITICALE (*Triticosecale Wittmack*)>, <CASCARILLA DE ARROZ>, <EMPAQUE DE ALIMENTOS>, <BIODEGRADACIÓN>.



0978-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the research was to obtain bioplastics from triticale starch and rice husks for the application as food packaging. It began with the extraction of starch by means of wet method, obtaining a yield of 50.73% for triticale and 5.22% for rice husk. The physicochemical characterization of the starch was carried out followed by the formulation process of the bioplastics based on the 2k factorial design, which resulted in four treatments each with four repetitions. For each treatment, the concentration of starch and glycerin was varied but the amount of water and acetic acid was constant. Through the physicochemical and mechanical trials, the optimal formulation was determined, this was the FM1 sheet. For the elaboration of this biofilm, 2.80 g of starch, 0.80 mL of glycerin, 2.00 mL of acetic acid, and 30.00 mL of distilled water were combined. The biodegradability of the bioplastics was carried out in an aqueous medium and underground, based on the European Standard (EN) 13432, it was determined that the degradation in an aqueous medium was more efficient, since the sheets degraded in 33 days. The microbiological analysis reported that the bioplastic is free of pathogenic microorganisms. In addition, the useful lifetime of the grapes (*Vitis vinifera*) packed with the biopolymer obtained and stored at room temperature and refrigeration (4°C) was determined. It is concluded that the bioplastic fulfills functions similar to those of the plastic based on petroleum, therefore, the biofilm is useful for food packaging. It is recommended to use raw materials with high amylose content in order to obtain bioplastics with better tensile properties.

Keywords: <BIOPLASTIC>, <STARCH>, <TRITICALE (*Triticosecale Wittmack*)>, <RICE HUSK>, <FOOD PACKAGING>, <BIODEGRADATION>.



Lcdo. Edison Hernán Salazar Calderón

C.I: 060318469-8

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el 80% de los hogares usa fundas plásticas. Para el año 2019, se produjeron 528.000 toneladas de desperdicios plásticos, lo que equivale al 11% del total de residuos sólidos generados ese año (El Telégrafo, 2019, párr.1-2).

La contaminación del ambiente representa uno de los problemas más grandes a nivel mundial. Dentro de los mayores contaminantes se encuentran los plásticos que representan un gran desafío ambiental, una vez utilizados estos se desechan y tardan más de 300 años en degradarse (Parra, 2019, p.2).

Los plásticos son productos provenientes del petróleo y requieren completamente de este recurso no renovable para su fabricación. Del total del petróleo sustraído en el mundo, aproximadamente el 5% se emplea para la elaboración del plástico. Sin embargo, los pronósticos aseguran que en menos de 50 años este fósil sufrirá un agotamiento si la frecuencia de consumo sigue como hasta hoy (Meneses et al., 2007, p. 58).

El plástico es considerado uno de los materiales más perjudiciales para la atmósfera, tan solo el 10% se recicla. El resto se encuentran esparcido en la naturaleza o se dirigen a los mares en forma de basura y micropartículas que restringen la producción de oxígeno en los seres vivos y son el alimento de especies acuáticas (El Telégrafo, 2019, párr.3). Los microplásticos interfieren en la producción de O₂ de la bacteria fotosintética denominada *Prochlorococcus*, la misma que habita en el océano. Dichas bacterias captan la luz solar a través de la clorofila, liberan oxígeno y fijan CO₂. Además, son responsables del 10% del oxígeno que respiramos (National Geographic, 2019, párr.9).

La mayor demanda de los plásticos se encuentra en la industria del empaque, principalmente en el área de empaque de alimentos, seguido del área farmacéutica y de cosméticos (Guamán, 2019, p.3). Por ello, se busca implementar biopolímeros a partir de recursos renovables, que se descompongan al finalizar su función de envase, principalmente en aplicaciones de corta vida, como los productos frescos en alimentación (Angueta y Giraldo, 2019, p.7). Con la innovación de los bioplásticos se pretende disminuir los residuos generados por los plásticos y, al mismo tiempo, cubrir las necesidades industriales tales como: bolsas de supermercados, envasados y empaques de alimentos.

En el Ecuador, el 50% de productos alimenticios son envasados con materiales de plástico, de igual manera, el área de manufactura es la que más consume productos plásticos, para el envasado y embalaje de alimentos y bebidas (Ubilla, 2019, pp.22-23). Cabe mencionar que a nivel industrial el 62% de las empresas de plástico se encargan de la producción de empaques y envases para alimentos (Cárdenas, 2017, p.29).

El Ecuador, al ser un país con tierra muy productiva cuenta con una infinidad de productos (Parra, 2019, p.1). Los cuales resultan útiles para la fabricación de plásticos biodegradables, como una opción para disminuir la tasa de contaminación.

El almidón es un polímero natural que se obtiene de diversos orígenes, está compuesto por amilosa (glucano lineal) y amilopectina (polímero ramificado), y la proporción entre ambos polímeros depende de su fuente de obtención. Forma un gel espeso translúcido después de la gelatinización, este parámetro es indispensable para formar la película. En los últimos años el almidón ha sido utilizado para elaborar láminas biodegradables como una alternativa para reemplazar parcial o completamente a los plásticos que representan una amenaza mundial (Alba, 2016, p.14).

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador establece que todo habitante tiene derecho a vivir en un entorno limpio, que asegure la preservación del medio ambiente y el buen vivir (Sumak Kawsay) (Tapia, 2014, p.1). Este último término hace referencia a la conservación y protección del ecosistema. Por ende, todas las personas tienen la obligación a vivir en un ambiente sano.

La contaminación originada por desechos plásticos provenientes del petróleo se ha multiplicado en gran medida, es por ello, que se ha visto en la obligación de implementar soluciones con el fin de disminuir dicha problemática que no solo aflige a nuestro país sino a todo el planeta (Parra, 2019, p.3).

Debido al problema anteriormente citado, esta investigación tiene como alternativa la utilización del almidón de triticale (mezcla de trigo y centeno) y de la cascarilla de arroz para la elaboración de plásticos biodegradables, como una opción menos dañina para el ecosistema ya que al proceder de fuentes naturales su tiempo de degradación es inferior al plástico común.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener bioplásticos a partir del almidón de triticale¹ y de cascarilla de arroz para su aplicación como empaque de alimentos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener almidón de triticale y de la cascarilla de arroz en base al diseño factorial 2^k y mediante el método de extracción por vía húmeda.
- Diseñar formulaciones óptimas para la elaboración de bioplásticos con propiedades fisicoquímicas y mecánicas en base a normativas de calidad.
- Determinar el tiempo de biodegradación del bioplástico obtenido de acuerdo con la norma EN 13432, y su aplicación como empaque de alimentos.

¹ Triticale: Mezcla de trigo y centeno: (50:50).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

A escala mundial, existen diversos países e industrias multinacionales que promueven investigaciones con el fin de desarrollar nuevos e innovadores materiales y métodos de producción que permitan obtener biopolímeros con propiedades similares a la del plástico común, y con un tiempo de degradación menor. Países como Japón, Francia, Estados Unidos, China, han construido establecimientos industriales que elaboran plásticos biodegradables y lo comercializan por todo el mundo (Heredia y Pulgar, 2019, p.21).

En un estudio realizado en la universidad de Córdoba-Argentina, utilizaron harina de triticale como componente formador de películas. La solución filmogénica fue obtenida por dispersión de la harina de triticale (4.0 g/100 ml) en agua. Adicionaron glicerol (30 g/100 g de harina) como plastificante. Las películas fueron secadas durante 18 horas a 40 °C, después, acondicionaron las láminas en una cámara ambiental a 25 °C y 52% de humedad relativa (HR). La HR fue obtenida utilizando soluciones saturadas de sal de Mg (NO₃)₂. Para el estudio del efecto del tiempo sobre sus propiedades, las películas se almacenaron hasta 60 días a 25 °C y 52% de HR. Las biopelículas de triticale fueron homogéneas, estables, flexibles, transparentes y de superficie suave. Dichas características indicaron un desempeño excelente de la harina de triticale como elemento formador de películas (Alba, 2016, pp.31-32).

Heredia y Pulgar (2019, p.15), mencionan otro método para la elaboración de bioplásticos a partir de la Malanga blanca, proveniente de los cultivos de Ecuador. Para la obtención del almidón utilizaron los métodos de extracción Brenda y Ganga, empleando solventes como agua destilada y ácido cítrico al 3%. Posterior a ello, realizaron el análisis proximal del almidón. Para la formulación del biopolímero añadieron al almidón diferentes sustancias químicas invariables como: agua destilada, NaCl y aceite de girasol, y sustancias químicas variables como: carboximetilcelulosa (CMC), glicerina (C₃H₈O₃) y ácido acético (CH₃COOH), como resultado obtuvieron biopolímeros con funciones similares al plástico común. Finalmente, evaluaron las características fisicoquímicas y mecánicas del bioplástico, para su posterior aplicación.

El arroz, es un cereal que produce grandes cantidades de cascarilla tras su procesado en las instalaciones arroceras. En las plantas industriales este grano es procesado, descascarillado, secado y blanqueado, produciéndose como residuo del proceso las cascarillas. Se valora que de cada 100 kg de arroz, se genera 20 kg de cascarilla (Remedios, 2020, p.8).

La cascarilla de arroz es considerada un residuo agroindustrial de gran producción mundial, este material está siendo investigado para su empleo como materia prima en la producción de bioplásticos (Remedios, 2020, p.2).

Debido a que el triticale es un cereal que no se comercializa en el Ecuador, esta investigación se planteó como alternativa para su obtención, la mezcla del grano de trigo con el centeno en proporciones 50:50 respectivamente. La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), establece que el porcentaje para el almidón de trigo es del 56% y para el almidón de centeno es del 55,3%. De igual forma (Amador, 2018, p.27), en su estudio menciona que el trigo posee un contenido de almidón del 59% y el centeno del 57%. Por lo tanto, se evidencia que la cantidad de almidón para estos dos cereales no presenta una gran diferencia, es por ello que se mezcló en proporciones iguales el trigo y el centeno (50:50).

1.2. Trigo

El trigo (*Triticum spp.*) es después del maíz el cereal de mayor producción en el mundo. Su principal uso es la alimentación humana. El almidón es el componente primordial del grano de trigo (65-70%, en base seca), se encuentra distribuido en el endospermo. Estos gránulos de almidón presentan una distribución bimodal, cuya dimensión varía entre 6,5 a 19,5 micras, por sus propiedades es útil fundamentalmente en aplicaciones alimentarias (Amador, 2018, p.22).

Tabla 1-1: Composición química del grano de trigo

	Almidón	Proteína	Extracto etéreo	Fibra cruda	Cenizas
Trigo (%)	56,0	13,8	2,0	2,9	1,6

Fuente: (FEDNA, 2000, p.21).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

1.3. Centeno

Su nombre científico es *Secale cereale*, es un cereal de origen mediterráneo. Su principal característica es su robustez, ya que tiene la capacidad de adaptarse a suelos infértiles de gran acidez y a climas extremos. Este grano está compuesto de un 11-13% de pericarpio, 11-12% de aleurona, 3-4% de germen y 71-75% de endospermo, fundamentalmente de tipo harinoso. Presenta un contenido de almidón de 55%, siendo fácilmente fermentable por los microorganismos del rumen. La proporción de amilosa oscila entre 25 a 30%. Y se emplea

principalmente para la alimentación del ganado, sin embargo, en diversos países también se lo utiliza para la elaboración del pan (FEDNA, 2000, párr.3).

Tabla 2-1: Composición química del centeno

	Almidón	Proteína	Extracto etéreo	Fibra cruda	Cenizas
Centeno (%)	55,3	9,4	1,3	2,3	1,6

Fuente: (FEDNA, 2000, p.9).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

1.4. Triticale

Su nombre científico es *Triticosecale Wittmack*, es el primer cereal creado por el hombre, producido por el cruzamiento del trigo (*Triticum spp.*) con el centeno (*Secale cereale L.*), con el objetivo de obtener un cereal con las características similares a la calidad del trigo y con la rusticidad del centeno (Castro et al., 2011, p.282).

El grano de triticale es de color marrón amarillento, su morfología externa es idéntica a la del trigo y el centeno, normalmente presenta un aspecto arrugado como rasgo distintivo. El grano arrugado representa un defecto grave de calidad en diversos cultivos de triticale, dando como resultado un menor peso hectolítrico y un bajo rendimiento en la industria del molino (Alba, 2016, p.27).

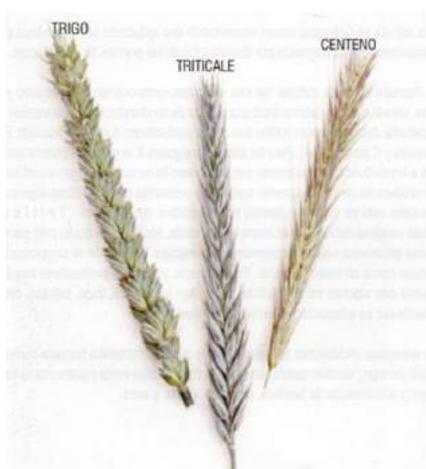


Figura 1-1: Triticale.

Fuente: (Merchancano et al., 1998, p.2).

1.4.1. Historia y origen

El primer triticales fue obtenido en Escocia, por el investigador Wilson en 1876, como híbrido estéril por polinización manual de flores emasculadas de trigo con polen de centeno. En 1891, Rimpau obtuvo el primer híbrido fértil proveniente del cruzamiento entre el trigo hexaploide y un centeno diploide, desde entonces varios científicos de todo el mundo lograron considerables avances (Alba, 2016, p.25).

Mas adelante, Lindschau y Oehler en 1935, lo denominaron por primera vez como triticales. A partir de 1937 con el hallazgo de la colchicina, se obtuvo una gran cantidad de triticales, descubriendo mejores cereales con las formas hexaploides (Merchancano et al., 1998, p.3).

1.4.2. Distribución

Hoy en día, el triticales es comercialmente cultivado en más de dos millones quinientas mil hectáreas en 34 países, especialmente en Polonia, Rusia, Alemania, Francia y Estados Unidos (Merchancano et al., 1998, p.3).

1.4.3. Composición química de las semillas de triticales

La composición química del grano es esencial para determinar su capacidad de utilización. Los parámetros nutricionales del grano son un aspecto importante para su uso como forraje, sin embargo, la funcionalidad de sus componentes es una parte esencial para la elaboración de productos alimenticios (Alba, 2016, p.27).

Tabla 3-1: Composición química del grano de triticales en base seca

Cereal	Almidón (%)	Azúcares libres (%)	Fibra cruda (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Otros compuestos (%)
Triticales de primavera	57-65	3,7-5,2	3,1-4,5	10,3-15,6	1,5-2,4	1,4-2,0	5,3-23
Triticales de invierno	53-63	4,3-7,6	4,3-7,6	10,2-13,5	1,1-1,9	1,8-2,9	8,1-29,3

Fuente: (Alba, 2016, p.28)

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

1.4.4. Clasificación del triticale

El triticale puede tener forma hexaploide (6x) u octaploide (8x), dependiendo de la especie de trigo que se haya usado en el cruzamiento con el centeno. Los granos de triticale hexaploides se consiguen a través del cruce entre el trigo duro y el centeno. Para los triticales octoploides el cultivo de embriones es opcional, mientras que para los hexaploides el cultivo *in vitro* de embriones es indispensable, debido a que los granos hexaploides son más estables genéticamente y son los más usados a nivel comercial (Natarén, 2012, pp.4-5).

Los cromosomas del centeno poseen aproximadamente el 35% más ADN que el trigo. De acuerdo al número de cromosomas del centeno que contienen los granos de triticale en su composición genética, estos suelen agruparse en triticales completos y triticales sustituidos. Los triticales completos poseen la dotación cromosómica completa del centeno, por esta razón son superiores a los sustituidos cuando se cultivan bajo condiciones de estrés, tales como disponibilidad de agua limitada, suelos ácidos y deficiencia de nutrientes. Mientras que los triticales sustituidos se caracterizan porque uno o más cromosomas del genoma D del trigo harinero sustituyen al cromosoma R del centeno (Natarén, 2012, p.5).

- Triticales primarios: se obtienen de forma directa por el cruzamiento entre el trigo y el centeno, actualmente no se los cultiva ya que son considerados pobres, por este motivo solo son usados para obtener otros tipos de especies y así aumentar su diversidad genética (Natarén, 2012, p.5).
- Triticales secundarios: se obtienen al entrecruzar los triticales primarios ya sea con el trigo o con otros triticales, con el objetivo de mejorar sus características. Actualmente la gran cantidad de triticales cultivados pertenecen a este grupo (Natarén, 2012, pp.5-6).

1.4.5. Usos del triticale

De acuerdo, con las características de sus diferentes especies, el triticale puede emplearse en pastoreo, ensilaje, como alimento humano y animal. A nivel industrial se usa en la producción de alcohol etílico. Gracias a sus propiedades físicas y químicas, el grano de triticale se ubica en una zona intermedia entre el trigo y el centeno, a excepción del extracto etéreo ya que sus valores son inferiores a la de sus progenitores. El triticale posee una gran cantidad de lisina y un alto balance de aminoácidos esenciales, convirtiéndolo en un grano ideal para reemplazar a otros cereales en cuanto a la alimentación humana y animal (Natarén, 2012, p.10).

1.5. Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto que se obtiene como resultado del proceso de molienda del grano de arroz, se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro y está constituida por dos glumas llamadas palea y lemma (Demera y Romero, 2018, p.13). Este tejido vegetal contiene celulosa y sílice, presenta propiedades físicas como baja densidad y resistencia mecánica por el cruzamiento de fibras (Postigo, 2019, p.34).



Figura 2-1: Cascarilla de arroz.

Fuente: Guamán, Jacqueline, 2021.

1.5.1. Composición

La cascarilla de arroz es un material lignocelulósico, está compuesto de 35% de celulosa, 25% de hemicelulosa, 20% de lignina y 17% de sílice. Es dos últimos compuestos deben ser eliminados para lograr que las bacterias empleen los azúcares, y así, la elaboración de bioplásticos sea eficiente (Remedios, 2020, pp.8-9). La composición química de la cascarilla difiere según la variedad del grano de arroz.

Tabla 4-1: Composición química de la cascarilla de arroz

	Almidón	Proteína	Lípidos	Fibra cruda	Cenizas
Cascarilla de arroz (%)	1,8	2,3 - 3,2	0,4 - 0,7	40,1 -53,4	15,3 - 24,4

Fuente: (Torres, 2018, p.5).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

1.5.2. Principales características

El peso y volumen de la cascarilla de arroz producen un aumento notable en los costos de almacenamiento y transporte a nivel industrial. Su uso en la fabricación de alimentos para animales es limitado debido a que es poco digerible. Su contenido de humedad varía entre el 5%-40% después de ser descascarillado, por sus características químicas en época no lluviosa presenta una humedad del 10% (Chur, 2010, p.11).

1.5.3. Usos de la cascarilla de arroz

Según las variedades del grano de arroz, el porcentaje de cascarilla varía entre 15 al 20%. A continuación, se detallan los usos de la cascarilla de arroz.

1.5.3.1. Utilización como combustible

El poder calórico de la cascarilla oscila entre 3,3 a 3,6 calorías/kg, quema de 800-1000°C, pero con la desventaja de que se genera un alto contenido de cenizas. La cascarilla sirve como combustible en las máquinas de vapor fijas o semifijas, destinadas a la mecanización de las plantas arroceras. La ausencia de elementos perjudiciales (azufre) presentes en el carbón, favorece el uso de la cascarilla en los hogares de las calderas, ya que no provoca corrosión ni formación de adherencias o irritaciones (Arias y Meneses, 2016, p.29).

1.5.3.2. Utilización como abono

La ceniza que se obtiene de la cascarilla de arroz puede usarse como abono por su contenido de sustancias fertilizantes. Debido a su alto contenido en celulosa y lignina, la cascarilla resulta útil en la preparación de abonos compuestos o artificiales. Cabe mencionar, que la materia básica no debe estar muy seca, debido a que los residuos que genera son nocivos, por lo que conviene evitarlo (Arias y Meneses, 2016, p.31).

1.5.3.3. Utilización para la elaboración de envases biodegradables

En la industria arroceras, la cascarilla de arroz se obtiene en grandes proporciones, sin embargo, este subproducto no tiene muchas aplicaciones, convirtiéndola en un residuo ideal para ser usadas en las biorrefinerías, ya sea como sustrato para la elaboración de bioplásticos o como materia prima para la obtención de bioetanol, energía u otros productos químicos. Para un futuro no muy

lejano resulta atrayente la obtención de diversos productos en una misma biorrefinería, como es el biohidrógeno y el bioplástico (Remedios, 2020, p.29).

Con esta idea se busca aprovechar al máximo la cascarilla proveniente de la industria agroalimentaria, pues pretende ser útil para la elaboración de ciertos productos, además de conseguir un benéfico carácter ambiental. Cabe señalar que las industrias que diseñan los bioplásticos no exhiben información necesaria para la elaboración de envases biodegradables, tampoco los componentes que usan ya que cada empresa lo mantiene de forma reservada (Postigo, 2019, p.35).

1.6. Polisacáridos

Son moléculas de hidratos de carbono, formadas por la unión de monosacáridos los cuales se unen a través de enlaces glucosídicos. Cumplen varias funciones, sobre todo de reservas energéticas y estructurales. Los principales polisacáridos son la celulosa y el almidón (Rosales, 2016, p.13).

1.6.1. Almidón

El almidón es la mayor reserva de carbohidratos en las plantas, está presente en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes y en los amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos. Está compuesto por amilosa y amilopectina, las cuales se pueden separar por fraccionamiento y ser estudiadas de manera individual. La amilosa es un polímero lineal y constituye entre el 15% al 20% del almidón, mientras que la amilopectina es una molécula ramificada de gran tamaño (Villarroel et al., 2018, p.272).

Según (Parra, 2019, p.13), el alto contenido de amilosa en el almidón genera películas fuertes, lo cual es conveniente para la elaboración de bioplásticos.

1.6.1.1. Componentes del almidón

El almidón está compuesto estructuralmente por una mezcla de amilosa y amilopectina en diferentes proporciones.

- **Amilosa**

Es un polímero formado por unidades de D-glucosa, unidas por enlaces α -1,4 glucosídicos el cual forma cadenas lineales y largas con alrededor de 200 a 20.000 unidades, y con pesos moleculares hasta de un millón g/mol. Los almidones con alto contenido de amilosa forman un gel, mientras que los almidones pobres en amilosa espesan, pero no gelatinizan. Este polímero representa una

cuarta parte del almidón (Guamán, 2019, p.13).

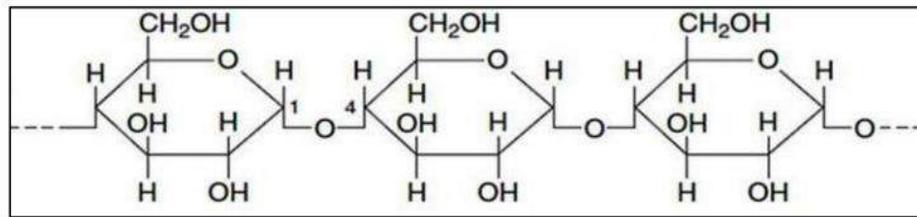


Figura 3-1: Estructura molecular de la amilosa.

Fuente: (Parra, 2019, p.13).

- **Amilopectina**

Este polisacárido representa el 80% del peso del almidón. Posee ramificaciones por lo cual se le otorga una forma molecular similar a la de un árbol, dichas ramificaciones están anexadas por enlaces glucosídicos α -D-(1-6) situadas cada 25 a 30 unidades de glucosa. Las ramificaciones hacen que este polímero sea menos soluble al agua, y que contenga un peso molecular elevado de hasta 200 millones g/mol (Parra, 2019 pág. 13).

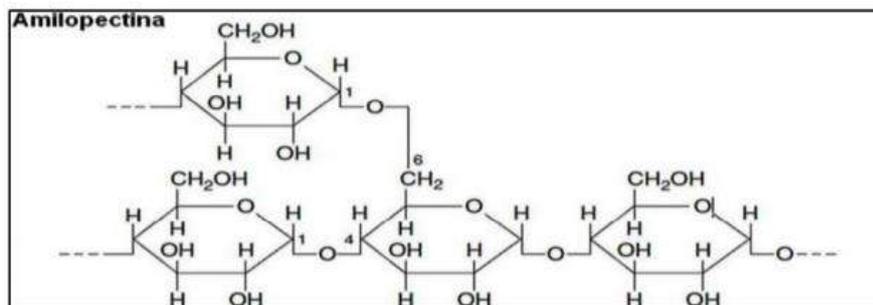


Figura 4-1: Estructura molecular de la amilopectina.

Fuente: (Parra, 2019, p.14).

1.6.1.2. Propiedades del Almidón

El almidón posee diversas propiedades que se describen a continuación:

- **Gelatinización**

Se caracteriza por la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón por acción del calor y de elevadas cantidades de agua, con muy poca o ninguna reacción de despolimerización. Esta propiedad tiene lugar en un rango estrecho de temperaturas, la cual cambia según la fuente del almidón (Meneses et al., 2007, p.60).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En medio acuoso los granos empiezan a hincharse por adición del calor, como consecuencia tienden a perder las características que le otorga su estructura semicristalina y a una temperatura idónea forman un gel (Ruiz, 2006, p.9).

- **Retrogradación**

Después de la etapa de gelatinización, en el cual se deja de aplicar calor y empieza la fase de enfriamiento, la viscosidad aumenta de nuevo y ocurre el evento llamado retrogradación. El cuál se describe como el aumento espontáneo del estado del orden, es decir, que sus cadenas moleculares se organizan a través de los puentes de hidrógeno. Simultáneamente, se produce una disminución de la solubilidad en el agua fría y un aumento de la turbidez (Meneses et al., 2007, p.60).

- **Transición vítrea**

La transición vítrea de un elemento polimérico está relacionada con el cambio producido por la acción del calor sobre las propiedades del polímero, el cual con el aumento de la temperatura pasa de sólido frágil y quebradizo a flexible (Crespo y Rivera, 2018, p.39).

- **Desestructuración**

Es la modificación de los granos de almidón semicristalino en una matriz uniforme de polímero amorfo, acompañada de la desintegración de los enlaces de hidrógeno entre las partículas de almidón, y su descomposición parcial. Los elementos fisicoquímicos que actúan en esta etapa son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, capacidad de agua, y cantidad total de energía aplicada. Primero se despolimeriza la amilopectina y luego la amilosa, con la utilización de mayor energía (Ruiz, 2006, p.10).

1.7. Biodegradable

La “ASTM D-5488-944” describe la palabra biodegradable como la habilidad que experimenta un polímero en desintegrarse en CO₂, CH₄, H₂O y compuestos orgánicos, donde influye la acción enzimática de las bacterias. Este parámetro se mide mediante pruebas estándares en una etapa de tiempo definido, evidenciado en condiciones disponibles de almacenamiento (Ruiz, 2006, p.6).

1.8. Bioplásticos

La Asociación Europea de Bioplástico (European Bioplastic), menciona que los bioplásticos forman parte de toda una familia de materiales con diferentes propiedades y aplicaciones, además señala que un bioplástico debe ser de procedencia biológica y biodegradable (European bioplastic citado por Meza, 2016, p.13).

El bioplástico es un material de origen natural sintetizado a partir de recursos renovables, se descomponen por acción de microorganismos con características biodegradables, por lo que ocasiona menor contaminación (Guamán, 2019, p.18).

1.8.1. Generalidades

Los bioplásticos elaborados con materia biodegradable como el almidón, son considerados como un producto no perjudicial tanto para el hombre como para el ambiente. Cabe mencionar que, las biopelículas que se comercializan poseen entre 30 – 100% de material renovable, el cual ayuda a reducir el cambio climático, a diferencia de los plásticos procedentes de fuentes no renovables que causan grandes cantidades de gases nocivos (Guamán, 2019, p.18).

Los productos a base de materia renovable se degradan en un lapso menor a un año, generando como residuo final del proceso: CO₂, agua y biomasa. En cambio, los plásticos provenientes del petróleo demoran hasta 1.200 años en descomponerse, causando una contaminación aglomerada al ecosistema (Guamán, 2019, p.19).

1.8.2. Aditivos usados para la elaboración de los bioplásticos

Para elaborar bioplásticos a partir del almidón, es necesario adicionar a la mezcla ciertos aditivos en pequeñas cantidades que permitan mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del plástico biodegradable.

1.8.2.1. Glicerina (C₃H₈O₃)

Es una sustancia viscosa, incolora, de sabor dulce y de olor característico. Actúa como plastificante, proporcionando suavidad y humectación al almidón, posee una densidad mayor a la del agua. Este compuesto le otorga flexibilidad al bioplástico (Guamán, 2019, p.20).

1.8.2.2. Agua destilada

Es agua proveniente de un proceso de destilación, el cual se encarga de liberar los iones e impurezas, dando como resultado agua sin cloruros, calcio, magnesio y fluoruros. Este aditivo es considerado un plastificante efectivo, ya que tiene la función de desintegrar los gránulos de almidón durante el desarrollo de la mezcla, con el fin de obtener un polímero termoplástico (Guamán, 2019, p.20).

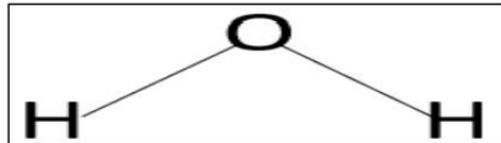


Figura 5-1: Estructura molecular del agua.

Fuente: (Parra, 2019, p. 14).

1.8.2.3. Ácido acético ($C_2H_4O_2$)

Es un líquido incoloro de olor característico, se lo conoce comúnmente como vinagre y actúa como modificador químico ya que se encarga de disminuir la naturaleza hidrofílica del almidón. Además, es utilizado por la industria como un aditivo antibacteriano y conservante natural (Guamán, 2019, p.21).

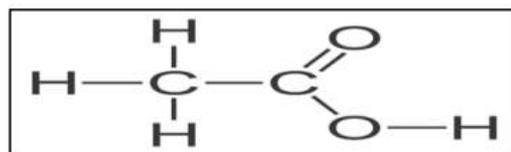


Figura 6-1: Estructura molecular del ácido acético.

Fuente: (Parra, 2019, p.14).

1.8.3. Propiedades

1.8.3.1. Propiedades Mecánicas

- **Dureza:** Es la fuerza máxima por área que soporta una película antes de romperse, por lo general, se obtiene al dividir la fuerza máxima entre el área transversal de la lámina (Heredia y Pulgar, 2019, p.46).
- **Densidad:** Es la cantidad de masa (biopolímero) en un determinado volumen de una sustancia (agua) (Rosales, 2016, p.29).

- **Elasticidad:** Esta propiedad determina la resistencia a la tensión de las películas del bioplástico sujetas a una fuerza máxima (Heredia y Pulgar, 2019, p.46).

1.8.3.2. Propiedades Físicas

- **Transparencia:** Es la propiedad que determina la opacidad de los biopolímeros y es una característica anhelada en el empaqueo de ciertos alimentos, pues está relacionada con la apariencia final del producto (Criollo, 2019, p.48).
- **Grosor:** Mide el espesor de las láminas del bioplástico (Heredia y Pulgar, 2019, p.46).

1.8.3.3. Propiedades Químicas

- **Degradación en suelo:** Determina la pérdida de peso o degradación sobre el tiempo de las películas en presencia de tierra propenso a diferentes condiciones ambientales (Heredia y Pulgar, 2019, p.47).
- **Degradación hidrolítica:** Establece el tiempo que tarda el bioplástico en degradarse en presencia del agua.
- **Degradación térmica:** Determina el comportamiento térmico de un material en función de la temperatura o del tiempo (Ruiz, 2005, p.32).

1.8.3.4. Propiedades Funcionales

- **Solubilidad en agua:** Es una propiedad importante ya que permite determinar si la biopelícula se degrada con facilidad, a mayor solubilidad el film resiste menos al agua, es decir que son más susceptibles a degradación (Criollo, 2019, p.36).
- **Absorción de agua:** Es la capacidad que adquiere el biopolímero para atraer cierta cantidad de agua, por ende, su tamaño aumenta (Heredia y Pulgar, 2019, p.47).
- **Temperatura de gelatinización:** Es el proceso mediante el cual el almidón se calienta a elevadas temperaturas obteniendo una temperatura ideal, por lo que se evidencia cambios en su estructura (Heredia y Pulgar, 2019, p.47).

1.8.4. Clasificación

Según Meza (2016, p.14), los plásticos biodegradables se clasifican de acuerdo con su proceso de fabricación en los siguientes polímeros:

- Extraídos de forma directa de la biomasa: dentro de esta clasificación se encuentran los polisacáridos (almidón y celulosa) y proteínas (caseína, queratina, y colágeno).
- Producidos por síntesis química empleando monómeros biológicos de origen renovable, como por ejemplo el ácido poliláctico, poliácidos glicoles y policaprolactonas.
- Generados por microorganismos, este grupo incluye, polihidroxicanoatos y poli-3-hidroxitutarato.

No obstante, la clasificación más conocida para los bioplásticos va en función de su fuente de origen ya sea a partir de fuentes fósiles como el petróleo o mediante la utilización de materias primas de fuentes renovables, conocido como bioplástico (Meza, 2016, p.14).

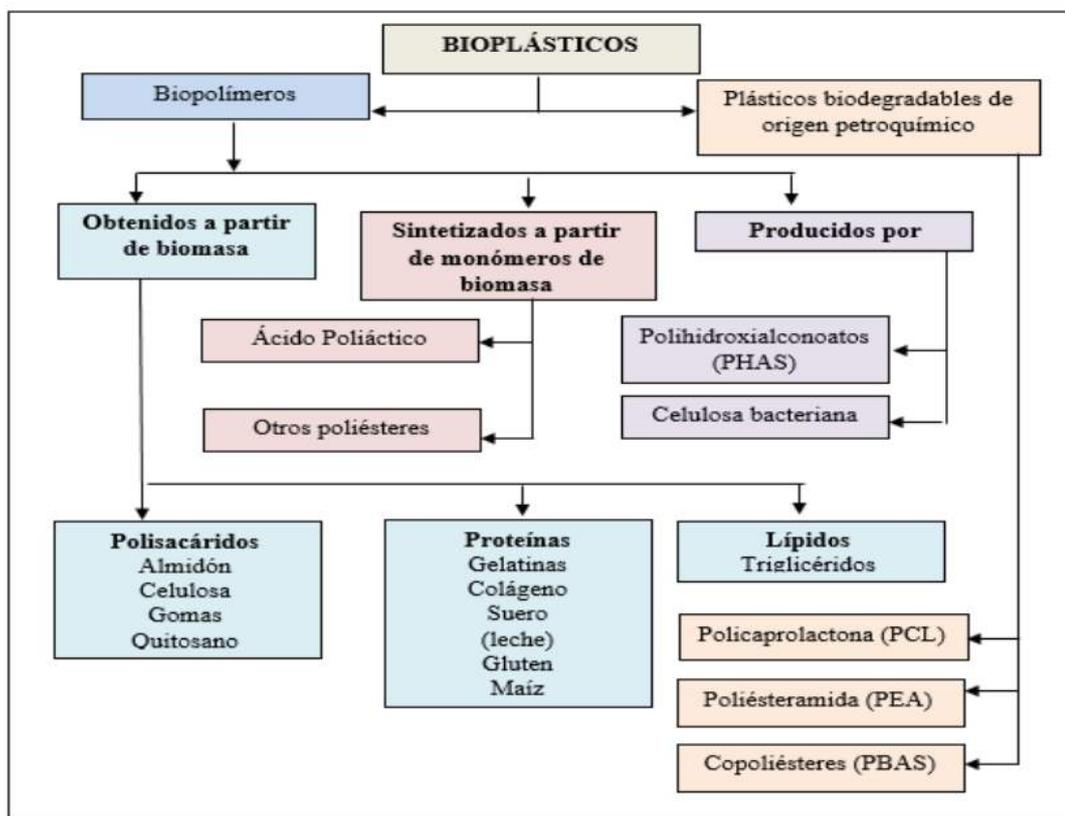


Figura 7-1: Clasificación de los bioplásticos según el origen de su materia prima.

Fuente: (Heredia y Pulgar, 2019, p.43).

1.8.5. Importancia

Los bioplásticos representan un papel importante en el mercado debido a que pueden reemplazar productos elaborados a partir de los plásticos derivados del petróleo, los cuales hoy en día producen gran cantidad de residuos generando un foco de contaminación alta puesto que su tiempo de descomposición es prolongado (Heredia y Pulgar, 2019, pp.47-48).

1.8.6. Aplicaciones Industriales de los bioplásticos

Los plásticos biodegradables juegan un papel importante dentro de la industria. A continuación, se detallan sus aplicaciones en la industria alimentaria y química:

Tabla 5-1: Aplicaciones industriales de los biopolímeros

INDUSTRIA	APLICACIONES
Alimentaria	Útil para empaques biodegradables, envolturas comestibles y conservación de frutas, vegetales, pescados, carnes, entre otros.
Envases	Para la manufactura de envases, que se derivan en envases flexibles como bolsas y los films; envases rígidos como bandejas, vasos, sorbetes, y botellas.
Química	Para la fabricación de artículos de higiene, espumas, juguetes amigables con el ambiente.

Fuente: (Guamán, 2019, p.19).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Lugar de la Investigación

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

2.2. Tipo y Diseño de Investigación

2.2.1. Tipo de Investigación

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se realizaron diferentes pruebas y ensayos de laboratorio cuyos resultados obtenidos fueron útiles para la obtención de bioplásticos.

La investigación es de tipo experimental, ya que permite la manipulación de variables experimentales, es decir, que a partir de los almidones de triticale, cascarilla de arroz y ciertos aditivos se determinó la composición más adecuada para la obtención de las biopelículas.

Guamán (2019, p.26), menciona que el estudio también es de tipo exploratorio, debido a que el tema seleccionado tiene como propósito obtener datos reales que sirvan de sustento para estudios futuros.

2.2.2. Diseño de Investigación

En cuanto al diseño de investigación es experimental, debido a que el estudio tiene como intención la manipulación de una o más variables experimentales en condiciones controladas.

2.3. Diseño Experimental

Para el estudio se aplicó un diseño experimental que permita determinar las mejores condiciones para optimizar propiedades ideales en la obtención del almidón y del bioplástico. Para ello se empleó el método factorial 2^k , en donde el “2” representa los factores considerados variables, mientras que “k” es el número de repeticiones.

Se trabajó con un diseño factorial 2^2 el cual generó cuatro tratamientos para la obtención del almidón tanto de triticale como de la cascarilla de arroz, estudiando el efecto de dos factores (RPM y tiempo de trituración), mientras que para la elaboración del bioplástico se tomó en cuenta

los factores (contenido de almidón y glicerina), considerando dos niveles (nivel alto (+) y nivel bajo (-)) en cada factor.

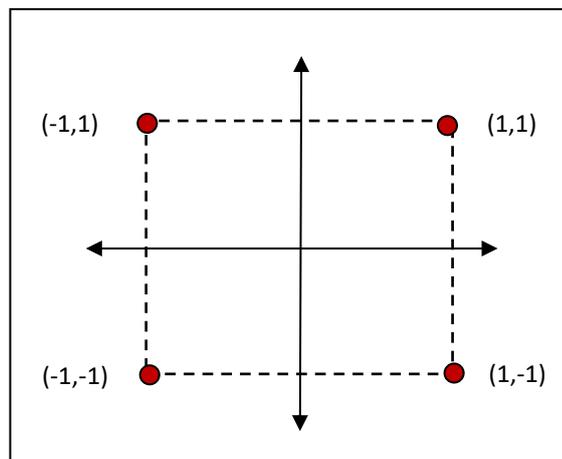


Figura 1-2: Esquema del diseño factorial 2^2 .

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

La Tabla 1-2, muestra los factores con sus respectivos niveles, donde “RPM₁” hace referencia al número bajo de revoluciones por minuto (5000 RPM) y “RPM₃” es el número alto de revoluciones por minuto (15000 RPM), en cuanto a los niveles (-1) es el nivel bajo y (1) es el nivel alto.

Tabla 1-2: Diseño factorial 2^2 del almidón

Tratamientos	Valor de los niveles	Factores			
		Triticale		Cascarilla de arroz	
		RPM	Tiempo	RPM	Tiempo
1	[-1; 1]	RPM ₁	1min	RPM ₁	2min
2	[-1; -1]	RPM ₁	45seg	RPM ₁	1min
3	[1; 1]	RPM ₃	1min	RPM ₃	2min
4	[1; -1]	RPM ₃	45seg	RPM ₃	1min

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Tabla 2-2: Diseño factorial 2^2 del bioplástico

Tratamientos	Valor de los niveles	Factores	
		Almidón (g)	Glicerina (mL)
1	[-1; -1]	2,80	0,80
2	[-1; 1]	2,80	1,00
3	[1; -1]	3,00	0,80
4	[1; 1]	3,00	1,00

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

2.4. Población y Muestra

2.4.1. Población de Estudio

La población de estudio seleccionada para la presente investigación fue el triticale y la cascarilla de arroz provenientes del mercado San Alfonso de la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo – Ecuador.

2.4.2. Tamaño de la muestra

Para la extracción del almidón se trabajó con 9 kg de triticale y 15 kg de cascarilla de arroz.

2.4.3. Método de muestreo

La selección de la muestra es considerada no probabilística puesto que se seleccionó la materia prima de acuerdo a sus características físicas.

2.4.4. Criterios de selección de la muestra

Criterios de inclusión:

- Triticale con buenas características físicas y químicas como (grado de madurez, es decir que el grano tenga un color amarillento; esté libre de manchas y que tenga un tamaño y grosor adecuado).
- Cascarilla de arroz que presente pequeños gránulos de arroz, este libre de paja y de materia inorgánica como tierra y pedazos de piedras.

Criterios de exclusión:

- Aquella cascarilla de arroz y granos de cereales (triticale) que presenten materias extrañas o daños por acción de insectos, microorganismos (mohos) o cualquier índole donde se evidencie un proceso de descomposición.

2.5. Planteamiento de las Hipótesis

2.5.1. Hipótesis 1

- Hipótesis Alternativa

El porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción del almidón de triticale y cascarilla de arroz depende de las variables: revolución por minuto (RPM) y tiempo de extracción.

- Hipótesis Nula

El porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción del almidón de triticale y cascarilla de arroz no depende de las variables: revolución por minuto (RPM) y tiempo de extracción.

2.5.2. Hipótesis 2

- Hipótesis Alternativa

Las formulaciones planteadas influyen en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.

- Hipótesis Nula

Las formulaciones planteadas no influyen en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.

2.6. Identificación de Variables

Tabla 3-2: Identificación de variables

Proceso	Variable independiente	Variable dependiente
Obtención del bioplástico	Aditivos	Espesor
		Humedad
		Resistencia
		Elasticidad
		Biodegradabilidad

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

2.7. Materiales, equipos y reactivos

2.7.1. Materia prima

Almidón de:

- Triticale
- Cascarilla de arroz

2.7.2. Materiales

- Bandejas de aluminio
- Probeta
- Cernidora de plástico
- Media nylon
- Mortero con pistilo
- Tamiz # 63
- Fundas ziploc
- Reverbero
- Malla de asbesto
- Termómetro
- Vasos de precipitación
- Tubos de ensayos
- Embudos simples
- Jeringas de 5 y 50mL
- Tubos plásticos
- Frascos plásticos
- Espátula
- Cajas Petri de vidrio
- Placas de vidrio
- Cúter
- Regla

2.7.3. Reactivos

- Reactivo de Lugol
- Agua destilada

- Glicerina
- Ácido acético

2.7.4. Equipos

- Licuadora (Oster)
- Estufa
- Desecador
- Cronometro
- Termómetro
- Balanza analítica
- Balanza digital Camry
- Mufla
- Agitador magnético
- pH-metro
- Centrifuga
- Incubadora shaker
- Viscosímetro de Brookfield
- Termobalanza
- Pie de rey

2.8. Procedimiento Experimental

2.8.1. Extracción de almidones

- Seleccionar la materia prima.
- Pesar 200g de muestra y licuar con 500mL de agua destilada.
- Filtrar para separar los residuos a través de un cernidor y una media nylon.
- Realizar varios lavados hasta que el agua del lavado sea transparente.
- Dejar reposar durante 12 horas hasta formar un sedimento.
- Retirar el exceso de agua.
- Colocar el sedimento en bandejas de aluminio.
- Secar a una temperatura de 50°C durante 24 horas.
- Pesar el almidón seco.
- Triturar los gránulos de almidón usando un mortero y pistilo.
- Tamizar a través de una malla de 53 μm .

- Almacenar en fundas ziploc a temperatura ambiente (Parra, 2019, pp.24-25).

Proceso de obtención del almidón de triticale y cascarilla de arroz

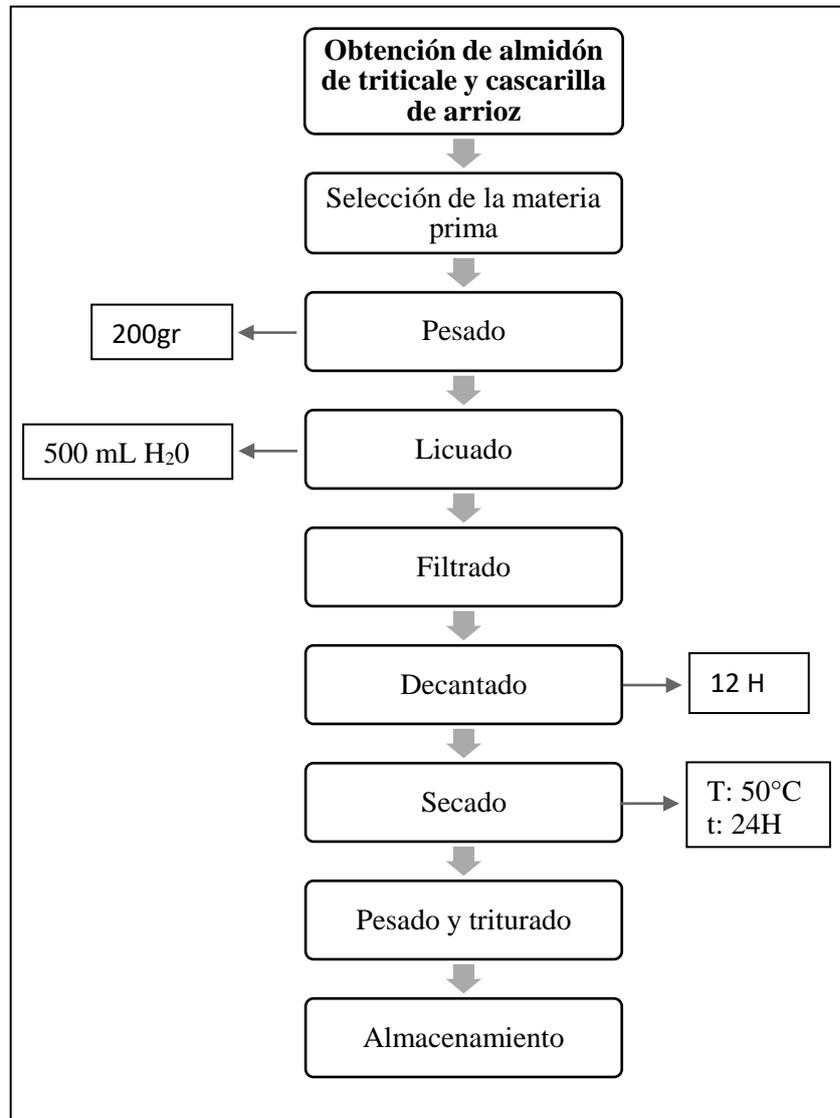


Figura 2-2: Extracción del almidón a partir de triticale y cascarilla de arroz.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

2.8.2. Ensayos para la caracterización de los almidones obtenidos

2.8.2.1. Identificación de almidón – Prueba de Lugol

- Pesar 1g de almidón.
- Colocar en un tubo de ensayo con 10mL de agua.
- Añadir 2 o 3 gotas del reactivo de Lugol.

- Agitar y observar el cambio de coloración.

2.8.2.2. *Temperatura de gelatinización*

- Pesar 10 g de almidón añadir agua destilada, disolver y completar hasta 100mL.
- Tomar 50mL de la suspensión y colocarlo a baño maría a 85°C.
- Agitar constantemente la mezcla con el termómetro hasta formar una pasta.
- Leer la temperatura de gelatinización (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.72).

2.8.2.3. *pH*

- Calibrar el pH-metro con soluciones buffer pH 4,0 y pH 7,0.
- Pesar 5 g de almidón.
- Añadir 25mL de agua destilada.
- Colocar en la incubadora shaker por 15 minutos a 200 RPM.
- Dejar reposar.
- Filtrar a través de papel filtro.
- Medir el pH (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.89).

2.8.2.4. *Índice de solubilidad en agua*

- Tarar los tubos plásticos a 60°C.
- Pesar en los tubos tarados 1,25g de almidón (bs) y añadir 30mL de agua destilada previamente precalentada.
- Agitar y colocar los tubos en baño maría a 60°C durante 30 minutos, iniciado el proceso de calentamiento agitar la suspensión a los 10 minutos.
- Centrifugar a 4500 RPM a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- Decantar el sobrenadante y medir el volumen.
- Tomar 10mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitación de 50mL previamente tarado.
- Secar el sobrenadante en la estufa a 70°C durante toda una noche.
- Pesar el tubo de la centrifuga con el gel.
- Pesar el vaso de precipitación con los insolubles (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73).

Ecuación 1-2: Índice de solubilidad en agua

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

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.73).

Donde:

bs = peso del almidón.

2.8.2.5. Viscosidad de Brookfield

- Pesar 25g de almidón.
- Añadir 500mL agua destilada y mezclar.
- Colocar la suspensión en un vaso de precipitación de 1000mL.
- Someter la solución a fuego y retirar cuando la mezcla comience a hervir.
- Dejar enfriar el gel hasta los 25°C.
- Leer directamente la viscosidad con el viscosímetro de Brookfield (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.66).

2.8.2.6. Contenido de humedad

- Tarar los crisoles.
- Pesar los crisoles vacíos y tarados.
- Pesar 3g de almidón.
- Colocar en la estufa a 80°C durante 24 horas.
- Colocar en el desecador por 1 hora.
- Pesar hasta peso constante (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.62).

Ecuación 2-2: Contenido de humedad

$$\% \text{Humedad} = 100 \times \frac{(P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.62).

Donde:

P₁ = Peso del crisol tarado.

P₂ = Peso del crisol más muestra.

P₃ = Peso del crisol con el almidón seco.

2.8.2.7. Contenido de cenizas

- Tarar los crisoles.
- Pesar 3g de muestra en un crisol previamente tarado.
- Colocar el crisol con el almidón en la mufla a una temperatura de 550°C durante tres horas y media.
- Dejar enfriar el crisol que contiene las cenizas, en el desecador.
- Pesar el crisol y calcular la cantidad de ceniza.
- Expresar el resultado como porcentaje de cenizas totales (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.91).

Ecuación 3-2: Contenido de cenizas

$$\% \text{cenizas} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Fuente: (González, 2018, p.49).

Donde:

m0 = Masa de la cápsula vacía en gramos.

m1 = Masa de cápsula con la muestra en gramos.

m2 = Masa de cápsula con las cenizas en gramos.

2.8.2.8. Densidad aparente

Se determinó mediante la técnica establecida por Smith, 1967.

Densidad aparente del almidón suelto.

- Pesar la probeta graduada vacía.
- Adicionar cuidadosamente con una espátula el almidón a la probeta de 10mL, usar un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado.
- Pesar la probeta con la muestra (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.65).

Ecuación 4-2: Densidad aparente

Densidad aparente del almidón suelto (g/mL) =

$$\frac{[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto})(\text{g})] - \text{peso probeta vacía (g)}}{10\text{mL}}$$

Fuente: (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.65).

2.8.2.9. Análisis de amilosa

Para la determinación de amilosa, se envió 250g de almidón de triticale y de cascarilla de arroz al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el cual menciona que utilizó el método descrito por Morrison y Laignelet (1983).

2.8.2.10. Determinación de proteína

Para este análisis se envió 2g de almidón de triticale y de cascarilla de arroz al Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos (SAQMIC), el cual utilizó el método Kjeldhal.

- Pesar 1g de muestra y colocarla en el matraz Kjeldahl; agregar 10g de K_2SO_4 , 0,7g de HgO y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Colocar el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta obtener una solución clara, continuar calentando por media hora más, y adicionar un poco de parafina en caso de aparición de espuma.
- Dejar enfriar, durante el enfriamiento adicionar poco a poco alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Una vez frío agregar 25 ml de solución de sulfato de sodio y mezclar.
- Añadir una perla de ebullición y 80 ml de la solución de $NaOH$ al 40% manteniendo inclinado el matraz.
- Conectar el matraz a la unidad de destilación, caliente y recolectar 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.
- Al terminar la destilación, retirar el matraz receptor, enjuagar la punta del condensador y titular con la solución estándar de HCl (González, 2018, pp.52-53).

Ecuación 5-2: Porcentaje de proteína

$$\%P = 1,4 \times f \times V \times N/m$$

Fuente: (Castelo, 2012, p.66).

Donde:

%P = contenido de proteína en porcentaje de masa.

f = factor para transformar el $\%N_2$ en proteína, y que es específico para cada alimento.

V = volumen de HCl o H_2SO_4 N/10 empleado para titular la muestra en mL.

N₁ = normalidad del HCl .

m= masa en gramo.

2.8.2.11. Determinación de grasa

Se envió 3 g de almidón de triticale y de cascarilla de arroz al Laboratorio SAQMIC, para este análisis se empleó el método Gravimétrico-extracción.

- Pesar 2 g de muestra seca (almidón).
- Colocar en un dedal de celulosa previamente tarado y registrar su peso.
- Colocar sobre el dedal algodón para evitar que se produzca evaporación de la muestra.
- En el balón previamente tarado, adicionar 250mL de éter etílico o éter de petróleo.
- Acoplar la cámara de sifonación al balón.
- Colocar el condensador con las mangueras sobre la cámara de sifonación.
- Encender la parrilla, controlar la entrada y salida de agua y extraer por 2 a 4h.
- Al terminar el tiempo, retirar el balón con el solvente más el extracto graso y destilar el solvente.
- El balón con la grasa bruta o cruda colocar en la estufa por media hora.
- Dejar enfriar en el desecador y pesar (Castelo, 2012, pp.62-64).

Ecuación 6-2: Porcentaje de grasa

$$\%G = \{(P_1 - P) / m\} \times 100$$

Fuente: (Castelo, 2012, p.63).

Donde:

%G = grasa cruda o bruta en muestra seca expresado en porcentaje en masa.

P₁ = masa del balón más la grasa cruda o bruta extraída en g.

P = masa del balón de extracción vacío en g.

m = masa de la muestra seca tomada para la determinación en g.

2.8.2.12. Determinación de fibra

Se empleó el método de Digestión ácida-básica, para ello se envió 3 g de almidón de triticale y cascarilla de arroz al Laboratorio SAQMIC.

- Pesar 2 g de muestra seca y desengrasada y transferir al vaso de Berzellius con perlas de vidrios y 250mL de H₂SO₄ 1,25%.
- Mantener la ebullición por media hora exacta, contados a partir de que empieza a hervir.

- Desconectar el balón, enfriar y filtrar al vacío.
- Lavar el balón y el residuo del papel con 250mL de agua destilada caliente.
- El residuo trasvasar cuantitativamente al vaso de Berzelliuss y añadir 250mL de NaOH 1,25%.
- Colocar el vaso en el equipo y mantener la ebullición por media hora exacta, contados partir de que empieza a hervir.
- Retirar el vaso del condensador, enfriar y filtrar por crisol Gooch, el cual debe contener una fina capa de lana de vidrio y estar previamente tarado.
- Lavar el vaso que contiene el residuo del papel con 250mL de agua destilada caliente.
- Por último, lavar con 15mL de hexano o etanol.
- Colocar el crisol de Gooch en la estufa a 105°C durante toda la noche, luego enfriar en desecador y pesar.
- Colocar el crisol de Gooch en la mufla a 600°C por media hora, enfriar en desecador y pesar (Castelo, 2012, pp.63-64).

Ecuación 7-2: Porcentaje de fibra

$$\%F = \{(P1 - P) / m\} \times 100$$

Fuente: (Castelo, 2012, p.64).

Donde:

%F = Fibra cruda o bruta en muestra seca y desengrasada expresada en porcentaje en masa.

P1 = masa del crisol más el residuo desecado en la estufa en g.

P = masa del crisol más las cenizas después de la incineración en mufla en g.

m = masa de la muestra seca y desengrasada tomada para la determinación en g.

2.8.2.13. Análisis microbiológico de los almidones

Se envió 5g de almidón de triticale y cascarilla de arroz al Laboratorio SAQMIC para determinar la presencia o ausencia de microorganismos como: aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras. Para ello se empleó el método de siembra en masa.

2.8.3. Obtención del bioplástico

- En un vaso de precipitación preparar una solución de agua destilada – almidón.
- Colocar la solución en baño maría a 80°C y agitar la solución de forma constante y moderada.

- Agregar el plastificante (glicerol), el conservante (Ácido acético) y agitar hasta que el almidón alcance su temperatura de gelatinización.
- Verter la mezcla sobre una placa de vidrio y dejarla secar a temperatura ambiente durante 48 horas (Parra, 2019, p.30).

Proceso de obtención del bioplástico a base de almidón de cascarilla de arroz y triticales

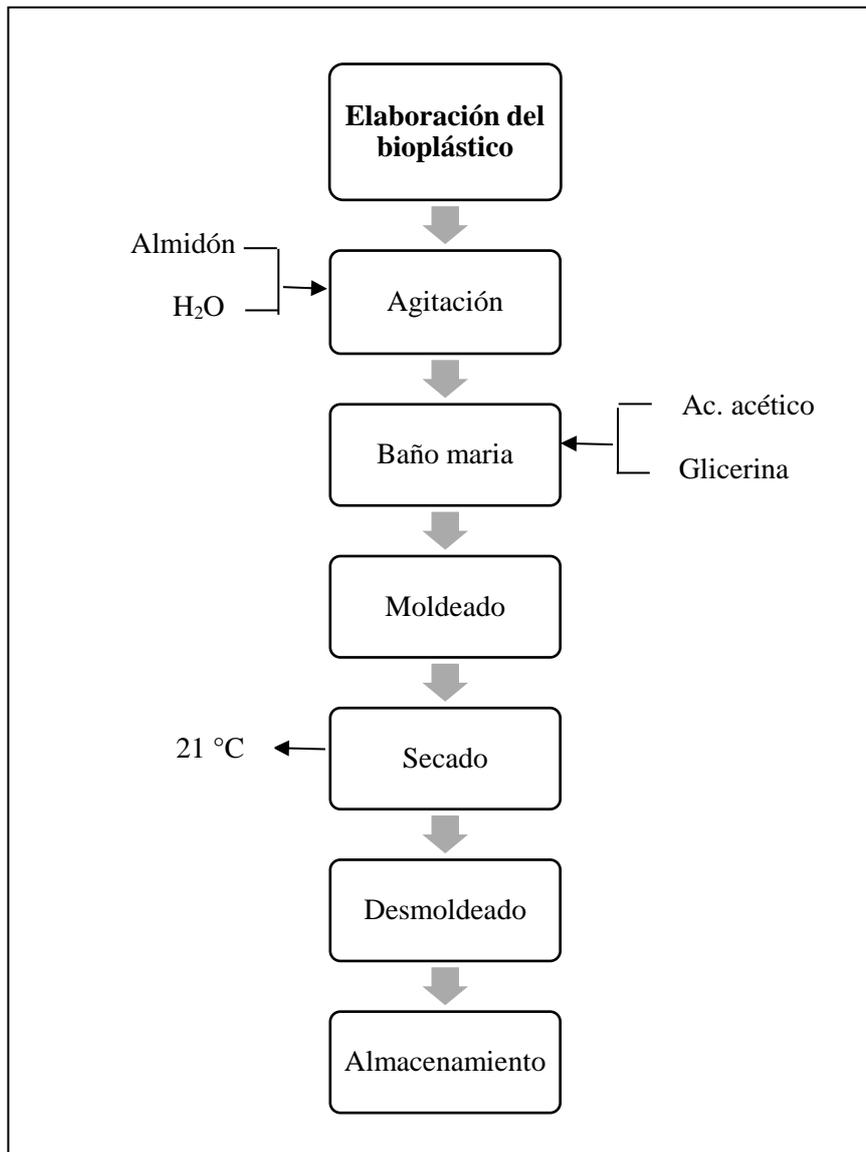


Figura 3-2: Obtención del bioplástico.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

2.8.4. Caracterización del bioplástico

2.8.4.1. Humedad para las biopelículas

- Cortar las películas en dimensiones de 3 x 3 cm.
- Colocar en la termobalanza.
- Esperar de 3 a 5 minutos.
- Leer y anotar el % de humedad del bioplástico.

2.8.4.2. Solubilidad en agua

- Cortar las películas en dimensiones de 2,5 x 2,5 cm.
- Colocar las películas en frascos de plástico pequeños.
- Añadir 80mL de agua destilada.
- Agitar a 100 RPM durante una hora.
- Filtrar.
- Colocar las películas en una estufa a 40°C hasta que se sequen y luego subir la temperatura a 105°C hasta obtener peso constante.

Ecuación 8-2: Porcentaje de solubilidad de las biopelículas

$$\% \text{ de solubilidad} = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) \cdot 100$$

Fuente: (Parra, 2019, p.33).

Donde:

P1 = Peso inicial seco de la película en gramos.

P2 = Peso final seco de la película en gramos.

2.8.4.3. Permeabilidad al vapor de agua

- Emplear el método desecante, donde se utiliza gel de sílice previamente activado a 105°C por 24 horas.
- Llenar con sílice las $\frac{3}{4}$ partes de los tubos de ensayos.
- Medir la altura y diámetro de los tubos.
- Cortar las películas en dimensiones de 2,5 x 2,5 cm, colocarlas en la boca de los tubos de ensayo y sellarlas herméticamente.

- Colocar en un desecador y en el fondo del desecador se coloca una solución saturada de cloruro de sodio.
- Pesar las muestras durante 6 horas consecutivas.

Ecuación 9-2: Permeabilidad al vapor de agua

$$WVP = \left(\frac{WVTR}{\Delta p} \right) \cdot E \text{ expresado en } \frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{Mpa}}$$

Fuente: (Ledesma et al., 2021, p.45).

Donde:

WVP = Permeabilidad al vapor de agua

WVTR = Tasa de transmisión de vapor de agua (g/h*m²)

Δp = Presión de vapor de agua a la temperatura de ensayo (Mpa) T= 21°C

E = Espesor de la lámina (mm).

2.8.4.4. Pruebas mecánicas

Las pruebas mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales Lenmav de la ciudad de Riobamba, para ello se utilizó el protocolo establecido por la norma INEN 2635-012.

2.8.4.5. Análisis microbiológico del bioplástico

Se envió una lámina de la mejor formulación del bioplástico al Laboratorio SAQMIC para determinar la presencia o ausencia de microorganismos, tales como: aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras. Se empleó el método de siembra en masa.

2.8.4.6. Ensayos de biodegradabilidad

Degradación en suelo.

- Recortar la lámina del bioplástico en dimensiones de 3 x 3 cm.
- Colocar las láminas en recipientes plásticos y cubrirlos con una capa fina de tierra y mantener en un ambiente húmedo.
- Revisar cada 9 días para verificar la presencia de las láminas hasta que se degraden por completo.

Degradación hidrolítica.

- Cortar las láminas del bioplástico en cuadrados de 3x3 cm.
- Colocar en recipientes y añadir 8mL de agua destilada.
- Revisar cada 3 días para verificar la presencia de las láminas hasta que se degraden completamente.

2.8.4.7. Aplicación de la biopelícula

- Colocar en seis recipientes de plástico porciones de uvas de forma equitativa.
- Cubrir dos de los recipientes con la lámina plástica de la mejor formulación.
- Cubrir otros dos recipientes con plástico film.
- Los dos recipientes restantes, no cubrirlos.
- Almacenar en refrigeración a 4°C, una muestra empacada con el bioplástico, plástico sintético, y otra muestra que no contenga envoltura.
- Las tres muestras restantes almacenarlas a temperatura ambiente.
- Observar pasando un día, si se evidencia cambios en la fruta.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Almidón de triticale² y cascarilla de arroz

3.1.1. Rendimiento de extracción del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz

En las tablas 1-3 y 2-3, se reflejan los resultados obtenidos del rendimiento del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz. Para este ensayo se utilizó 500mL de agua y 200g de materia prima.

Tabla 1-3: Rendimiento de extracción del almidón de triticale

	Variables	Repetición	Peso (g)			Rendimiento (%)	
	RPM / tiempo		R	Promedio	Total	R	Promedio
T1	5000/ 45seg	R1	56,14	64,18	256,70	28,07	32,09
		R2	67,73			33,87	
		R3	71,19			35,60	
		R4	61,64			30,82	
T2	5000/ 1min	R1	76,93	70,80	283,19	38,47	35,40
		R2	69,93			34,98	
		R3	76,53			38,27	
		R4	59,77			29,89	
T3	15000/ 45seg	R1	96,52	100,26	401,05	48,26	50,13
		R2	74,67			37,34	
		R3	113,51			56,76	
		R4	116,35			58,18	
T4	15000/ 1min	R1	97,13	101,46	405,85	48,57	50,73
		R2	94,02			47,01	
		R3	109,88			54,94	
		R4	104,82			52,41	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

² Triticale: Mezcla de trigo y centeno: (50:50).

Tabla 2-3: Rendimiento de extracción del almidón de la cascarilla de arroz

Tratamiento	Variables	Repetición	Peso (g)			Rendimiento (%)	
	RPM / tiempo		R	Promedio	Total	R	Promedio
T1	5000/ 1min	R1	6,67	6,85	27,39	3,34	3,42
		R2	7,30			3,65	
		R3	6,84			3,42	
		R4	6,58			3,29	
T2	5000/ 2min	R1	9,76	9,46	37,85	4,88	4,73
		R2	10,29			5,15	
		R3	9,10			4,55	
		R4	8,70			4,35	
T3	15000/ 1min	R1	10,98	10,18	4,70	5,49	5,09
		R2	10,00			5,00	
		R3	9,98			4,99	
		R4	9,74			4,87	
T4	15000/ 2min	R1	12,82	10,44	41,76	6,41	5,22
		R2	8,20			4,10	
		R3	10,67			5,34	
		R4	10,07			5,04	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

La extracción de los almidones se realizó en base al diseño factorial 2^k , el cual dio origen a 4 tratamientos diferentes cada uno con 4 réplicas, dando como resultado un total de 16 pruebas, con la finalidad de seleccionar el tratamiento más adecuado para la obtención del almidón. Además, se aplicó el método por vía húmeda, el cual se fundamenta por la reducción de la materia prima usando un medio líquido, y facilitando la eliminación de componentes que son relativamente grandes (Mogrovejo, 2019, p.15). En las tablas 1-3 y 2-3 se exponen los resultados obtenidos del rendimiento del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz respectivamente, siendo el de mayor rendimiento el tratamiento 4 con un porcentaje de 50,73% para el almidón de triticale (ver Gráfico 1-3), y 5,22% para el almidón de cascarilla de arroz (ver Gráfico 2-3). Por ende, el almidón de triticale es aquel que presenta mejores resultados de rendimiento. En comparación con (Morochó et al., 2021, p.630) en su estudio denominado “Caracterización física química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada” se reportó que el rendimiento de almidón para el trigo fue de 42,58% y en el caso de la cebada fue de 23,57%. Por lo tanto, se

observa que el porcentaje obtenido del almidón de triticale supera los valores que presenta Morocho en su estudio. Por otro lado, (Llerena y Monzón, 2017, p.54) en su investigación para la elaboración de envases biodegradables obtuvieron un porcentaje de 35,24% para el almidón de arroz. Se evidencia que el valor obtenido es inferior a lo reportado por los autores, esta diferencia de porcentajes se debe a que el almidón extraído fue a partir de la cascara de arroz y no del grano en sí.

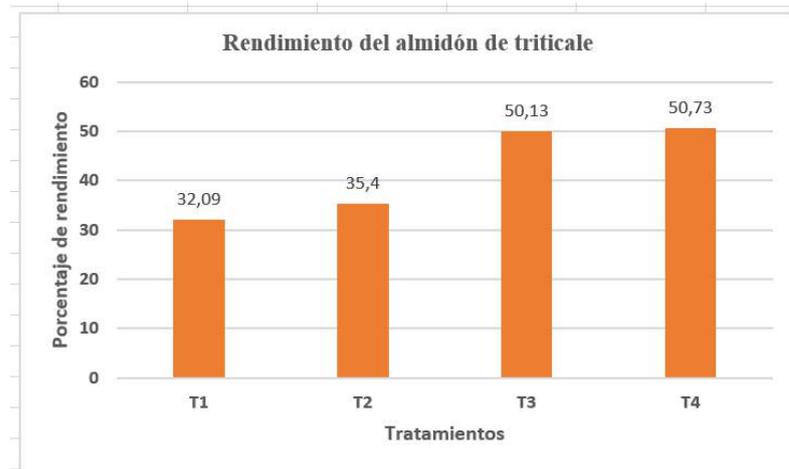


Gráfico 1-3: Resultados del rendimiento del almidón de triticale.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

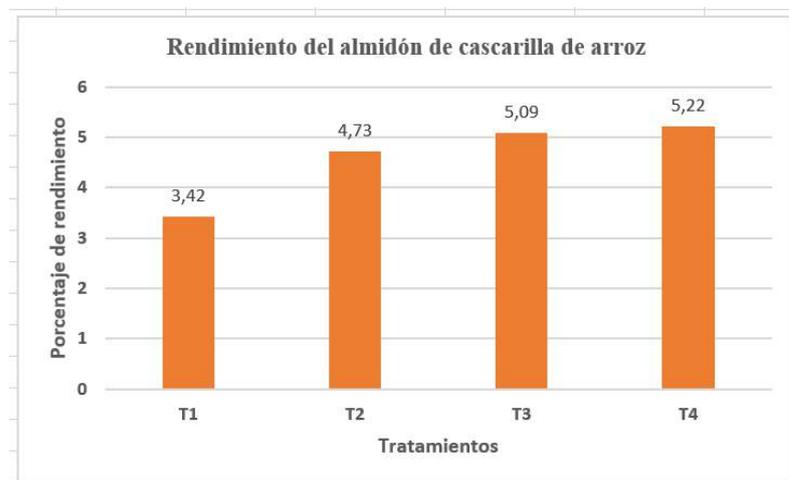


Gráfico 2-3. Resultados del rendimiento del almidón de la cascara de arroz.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.1.2. Análisis fisicoquímico del almidón de triticale y cascarilla de arroz

Tabla 3-3: Análisis fisicoquímico del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz

Parámetro	Almidón de triticale	Almidón de cascarilla de arroz	Valores de referencia
Prueba de Lugol	(+)	(+)	(+) = Azul-violeta
Humedad (%)	8,24	6,14	10,00- 13,00%
Cenizas (%)	0,90	2,03	0,06 – 1,30%
Grasa (%)	0,17	0,34	Grasa=0,34%
Fibra (%)	0,19	5,90	Fibra=6,15%
Proteína (%)	0,87	1,08	Proteína=2,18%
Carbohidratos Totales (%)	89,63	84,51	-
pH	5,42	5,51	5,00 - 7,00
Viscosidad (cp)	881,77	682,70	400,00 – 900,00cp
Temperatura de gelatinización (°C)	83,00	86,00	58,50 – 70,00° C
Solubilidad (%)	11,44	5,07	0,27 – 12,32%
Densidad aparente (g/mL)	0,45	0,37	1,56 g/mL
Amilosa (%)	34,28	25,17	INIAP
Amilopectina (%)	65,72	74,83	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

En la tabla 3-3 se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz.

Se realizó la prueba de Lugol, cuyos resultados fueron positivos para los dos almidones. Al añadir el reactivo de Lugol se evidenció un cambio de color a azul-violeta intenso. Aristizábal y Sánchez (2007, p.35), mencionan que cuando la amilosa está en presencia de yodo adquiere un color azul profundo, mientras que la amilopectina se torna de color violeta. El porcentaje de humedad para el triticale y la cascarilla de arroz fue de 8,24% y 6,14% respectivamente, sin embargo, los valores obtenidos son inferiores a lo manifestado por (Aristizábal y Sánchez, 2007, pp.113) donde se establece que el rango estándar de humedad es de 10,00 -13,00%. Además, menciona que cuando el almidón es almacenado por encima del 13,00% de humedad, este favorece el crecimiento de hongos y levaduras. Por otra parte, (Oñate, 2018, p.21) obtuvo un porcentaje de humedad de 8,57% y afirma

que el contenido de humedad depende de las condiciones de almacenamiento y del proceso de secado del almidón. El contenido de cenizas fue de 0,90% para el almidón de triticale, este valor se encuentra dentro del rango de referencia (0,06% - 1,30%) reportado por (Ledezma et al., 2021, p.47). Mientras que el porcentaje de ceniza para la cascarilla de arroz fue de 2,03% cuyo valor es superior a lo establecido anteriormente. Sin embargo, (Oñate, 2018, p.21) menciona que el contenido de ceniza difiere según la variedad, estado de madurez, y el tipo de suelo.

El análisis de grasa, proteína y fibra se realizó en el laboratorio SAQMIC (ver Anexo G), cuyos resultados arrojados fueron de (0,17% - 0,34%), (0,87% - 1,08%) y (0,19% - 5,90) para el almidón de triticale y cascarilla de arroz respectivamente. En la investigación realizada por (Oñate, 2018, p.20) el contenido de grasa fue de 0,34%, proteína 2,18% y fibra 6,15. Se observa que los resultados reportados por el autor, son ligeramente superiores a los obtenidos por el laboratorio. Los resultados del análisis del pH fueron de 5,42 y 5,51 para el almidón de triticale y la cascarilla respectivamente, este dato se encuentra dentro de lo establecido por la norma (NTE INEN 1456, 1986, p.2), la cual menciona que el rango de referencia del pH es de 5,00 a 7,00. Los datos obtenidos en cuanto a la viscosidad y solubilidad fueron favorables, puesto que se encuentran dentro del límite establecido por la Guía Técnica para Producción y Análisis del Almidón de Yuca. Con respecto a la temperatura de gelatinización, el almidón de triticale se gelatinizó a 83,00°C, mientras que la cascarilla de arroz a 86,00°C. Sin embargo, el margen permitido para este parámetro es de 58,50°C y 70,00°C (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.113), por lo que se observa que los valores obtenidos son mayores a lo establecido por la norma. Según (Miranda et al., 2013, p.25), temperaturas mayores de gelatinización están relacionadas con el gran tamaño del gránulo, lo cual facilita una mayor penetración de agua al interior del gránulo. Por lo tanto, se obtiene mayores temperaturas para gelatinizar. El rango de gelatinización depende de la variedad del almidón (Guamán, 2019, p.17). De igual manera, (Cuenca y Moncada, 2020, p.33) señalan que la temperatura de gelatinización para el trigo va desde 80 a 85°C.

La densidad aparente del almidón fue de 0,45g/mL para el triticale y de 0,37g/mL para la cascarilla de arroz, cuyos valores son inferiores con respecto a lo reportado por la (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.65). Sin embargo, (Lalaleo, 2017, p.30) en su estudio obtuvo una densidad de 0,51 a 0,72 g/mL y menciona que la densidad es mayor cuando las partículas están amontonadas, por ende, ocupan un mayor volumen por la baja resistencia a la compactación, mientras que cuando las partículas no están amontonadas la densidad aparente es menor. Según (Cuenca y Moncada, 2020, p.65), la densidad depende del tamaño de partícula y su distribución granulométrica ya sea en alimentos granulados y polvos.

El contenido de amilosa se realizó en el Laboratorio INIAP (ver Anexo E), donde se reportaron los siguientes resultados: 34,28% para el almidón de triticale y 25,17% para la cascarilla de arroz. El porcentaje de amilopectina se obtuvo por diferencia del 100% menos el contenido de amilosa, cuyos resultados fueron de 65,72% y 74,83% para el triticale y la cascarilla de arroz

respectivamente. El porcentaje de amilosa para el trigo varía de 24-29%, para el centeno de 24-30% y para el arroz de 8-37% (Amador, 2018, p.27). Por lo tanto, la cascarilla de arroz se encuentra dentro de lo mencionado por el autor, mientras que para el triticale se evidenció un contenido ligeramente mayor. Según (Meza, 2016, p.28), el contenido de amilosa depende de su fuente de origen y abarca entre el 17–35% en peso. De acuerdo con (Guamán, 2019, p.12), el lazo entre la amilosa y la amilopectina es un aspecto importante para la obtención de biopelículas, debido a que ambas moléculas influyen en las propiedades físicas y mecánicas de las películas. Por otra parte, (Parra, 2019, p.13) establece que el almidón rico en amilosa es útil para la elaboración de biopolímeros ya que genera láminas fuertes. Además, (Ledesma et al., 2021, p.47) menciona que cuando el porcentaje de amilosa es mayor se debe emplear una concentración menor de almidón para la formulación de las biopelículas.

3.1.3. Análisis microbiológico de los almidones

Tabla 4-3: Análisis microbiológico del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz

Parámetro	Almidón de triticale	Almidón de cascarilla de arroz	Rango de referencia
Aerobios mesófilos (UFC/g)	200,00	330,00	200 000 - 300 000
Mohos y Levaduras (UFC/g)	<10,00	<10,00	1 000 - 5 000
Coliformes totales (UFC/g)	Ausente	Ausente	-
Coliformes fecales (UFC/g)	Ausente	Ausente	<10,00

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Agua y Alimentos (SAQMIC).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

La tabla 4-3 muestra los resultados del análisis microbiológico de los almidones analizados (ver Anexo H), se reportó la presencia de aerobios mesófilos para el almidón de triticale y de la cascarilla de arroz, cuyos valores fueron de 200 y 330 UFC/g respectivamente. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.113). Por otro lado, también se evidencia la ausencia de microorganismos, tales como: mohos y levaduras, coliformes totales y fecales. A pesar de que los valores obtenidos de aerobios mesófilos están dentro del rango establecido por la FAO, se recomienda repetir este ensayo, debido a que a partir del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz se desea obtener bioplásticos para empaque de alimentos, por ende, la biopelícula no debe presentar ningún tipo de microorganismos, con la finalidad de garantizar la calidad organoléptica y fisicoquímica del alimento.

3.2. Formulaciones planteadas en base al diseño factorial 2^k

Tabla 5-3: Concentración de los componentes para la elaboración del biofilm

Nomenclatura	Componentes de concentraciones variables		Componentes de concentraciones constantes	
	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Agua (mL)	Ácido acético (mL)
Bioplástico a base de triticale				
FT1	2,80	0,80	30,00	2,00
FT2	3,00	1,00	30,00	2,00
FT3	2,80	1,00	30,00	2,00
FT4	3,00	0,80	30,00	2,00
Bioplástico a base de la cascarilla de arroz				
FCA1	2.80	1.20	30,00	2,00
FCA2	2.50	1,00	30,00	2,00
FCA3	2.80	1,00	30,00	2,00
FCA4	2.50	1.20	30,00	2,00
Bioplástico a base de triticale y de la cascarilla de arroz				
FM1	2.80	0.80	30,00	2,00
FM2	3,00	1,00	30,00	2,00
FM3	2.80	1,00	30,00	2,00
FM4	3,00	0.80	30,00	2,00

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

En la tabla 5-3, se muestra el esquema de las formulaciones planteadas para la obtención de bioplásticos en base al diseño factorial 2^k, se generaron 4 formulaciones cada una con 4 réplicas, considerando como factores variables la cantidad de almidón y glicerina, este último aditivo actúa como plastificante y le proporciona flexibilidad al bioplástico. Mientras que la concentración de agua y ácido acético se mantuvieron constantes. Las formulaciones fueron planteadas de acuerdo con revisiones bibliográficas y a los resultados del porcentaje de amilosa.

3.3. Características físicas del bioplástico

En base al almidón de triticale, se formuló 4 tratamientos para la obtención del biopolímero. De igual forma se realizó para la obtención del bioplástico de la cascarilla de arroz.

La elaboración del bioplástico se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación, para lo cual se empleó el método de secado al ambiente, con una temperatura de 21°C, el tiempo de secado de las placas fue de 48 horas.

3.3.1. Bioplástico de Triticale

Tabla 6-3: Características físicas del bioplástico de Triticale

Tratamiento	Repetición	Tiempo (min) empleado en elaborar la lámina	BIOPLÁSTICO					
			Área (cm ²)	Peso	Espesor	Forma película	Transparencia	Estabilidad
TT1	R1	2:30	63,00	1.35	0.10	SI	SI	SI
	R2	2:25	63,00	1.38	0.10	SI	SI	SI
	R3	2:33	63,00	1.33	0.10	SI	SI	SI
	R4	2:29	63,00	1.35	0.10	SI	SI	SI
TT2	R1	2:25	63,00	1.40	0.12	SI	SI	SI
	R2	2:24	63,00	1.45	0.12	SI	SI	SI
	R3	2:20	63,00	1.42	0.12	SI	SI	SI
	R4	2:17	63,00	1.44	0.12	SI	SI	SI
TT3	R1	2:28	63,00	1.35	0.10	SI	SI	SI
	R2	2:30	63,00	1.38	0.10	SI	SI	SI
	R3	2:25	63,00	1.40	0.10	SI	SI	SI
	R4	2:31	63,00	1.38	0.10	SI	SI	SI
TT4	R1	2:24	63,00	1.28	0.11	SI	SI	SI
	R2	2:21	63,00	1.30	0.11	SI	SI	SI
	R3	2:26	63,00	1.29	0.11	SI	SI	SI
	R4	3:29	63,00	1.32	0.11	SI	SI	SI

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.3.2. Bioplástico de la Cascarilla de arroz

Tabla 7-3: Características físicas del bioplástico de la Cascarilla de arroz

Tratamiento	Repetición	Tiempo (min) empleado en elaborar la lámina	BIOPLÁSTICO					
			Área (cm ²)	Peso	Espesor	Forma película	Transparencia	Estabilidad
TCA1	R1	3:40	63,00	1,20	0,10	SI	NO	SI
	R2	3:35	63,00	1,23	0,10	SI	NO	SI
	R3	3:30	63,00	1,19	0,10	SI	NO	SI
	R4	3:30	63,00	1,19	0,10	SI	NO	SI
TCA2	R1	3:20	63,00	1,18	0,10	SI	NO	SI
	R2	3:26	63,00	1,22	0,10	SI	NO	SI
	R3	3:25	63,00	1,25	0,10	SI	NO	SI
	R4	3:30	63,00	1,21	0,10	SI	NO	SI
TCA3	R1	3:15	63,00	1,22	0,12	SI	NO	SI
	R2	3:18	63,00	1,20	0,12	SI	NO	SI
	R3	3:22	63,00	1,19	0,12	SI	NO	SI
	R4	3:27	63,00	1,21	0,12	SI	NO	SI
TCA4	R1	3:30	63,00	1,15	0,11	SI	NO	SI
	R2	3:30	63,00	1,18	0,11	SI	NO	SI
	R3	3:25	63,00	1,18	0,11	SI	NO	SI
	R4	3:21	63,00	1,20	0,11	SI	NO	SI

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.4. Ensayos para la elaboración del bioplástico de triticale y cascarilla de arroz

3.4.1. Formulación óptima del bioplástico

Tabla 8-3: Formulación óptima del bioplástico a partir del almidón de triticale y cascarilla de arroz

No.	Almidón de triticale (%)	Almidón de cascarilla de arroz (%)	Parámetros		
			Forma películas	Flexibilidad	Resistencia
1	50,00	50,00	SI	NO	NO
2	70,00	30,00	SI	NO	NO
3	80,00	20,00	SI	NO	SI
4	90,00	10,00	SI	SI	SI

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

En base a los resultados indicados en la Tabla 8-3, se realizó formulaciones con diferentes porcentajes de almidón de triticale y cascarilla de arroz, para hallar el bioplástico con características óptimas requeridas. De las formulaciones planteadas, se obtuvo el mejor bioplástico al mezclar almidón de triticale y cascarilla de arroz en proporciones 90:10 respectivamente. A partir de la última mezcla se obtuvo diferentes láminas plásticas.

3.4.2. Características físicas de los bioplásticos

A través del análisis de las variables, se seleccionó aquellas concentraciones que dieron como resultados favorables la obtención del bioplástico, posterior a ello se realizó los análisis respectivos para determinar la mejor variación.

Tabla 9-3: Características físicas del bioplástico a partir del almidón de triticale y cascarilla de arroz

Tratamiento	Repetición	Tiempo (min) empleado en elaborar la lámina	BIOPLÁSTICO					
			Área (cm ²)	Peso	Espesor	Forma película	Transparencia	Estabilidad
TM1	R1	3:10	63	1,20	0,1	SI	SI	SI
	R2	3:15	63	1,23	0,1	SI	SI	SI
	R3	3:13	63	1,19	0,1	SI	SI	SI
	R4	3:09	63	1,19	0,1	SI	SI	SI
TM2	R1	3:15	63	1,18	0,13	SI	SI	SI
	R2	3:16	63	1,22	0,13	SI	SI	SI
	R3	3:20	63	1,25	0,13	SI	SI	SI
	R4	3:17	63	1,21	0,13	SI	SI	SI
TM3	R1	3:08	63	1,22	0,09	SI	SI	SI
	R2	3:10	63	1,20	0,09	SI	SI	SI
	R3	3:15	63	1,19	0,09	SI	SI	SI
	R4	3:11	63	1,21	0,09	SI	SI	SI
TM4	R1	3:13	63	1,15	0,13	SI	SI	SI
	R2	3:17	63	1,18	0,13	SI	SI	SI
	R3	3:20	63	1,18	0,13	SI	SI	SI
	R4	3:15	63	1,20	0,13	SI	SI	SI

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.4.3. Caracterización del bioplástico

3.4.3.1. Contenido de humedad

Tabla 10-3: Resultados del ensayo de humedad del bioplástico

Formulación	Réplicas	Humedad (%)	Humedad Promedio
FM1	1	12,80	12,50%
	2	12,20	
FM2	1	12,68	13,33%
	2	13,98	
FM3	1	14,01	14,21%
	2	14,41	
FM4	1	11,76	12,71%
	2	13,65	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

La tabla 10-3, muestra los resultados del análisis de humedad del bioplástico. En el estudio de (Escobar et al., 2009, p.35), se evidenció una humedad de 19,3 a 22,1%. Mientras que (López, 2011, p.156), reportó un contenido de humedad de 8,71 a 10,99%. De acuerdo con (Trujillo, 2014, p.69), las láminas del biopolímero deben contener un porcentaje de humedad de 6,01% a 14,84%. Además, comprobó que el alto contenido de humedad afecta la estructura de las láminas, volviéndolas vulnerables a la ruptura en la manipulación y en el almacenamiento convirtiéndolas en blanco del crecimiento de hongos. Por otro lado, (López, 2011, p.103) menciona que la adición de glicerol incrementa la humedad, esto se debe al carácter hidrofílico de dicho aditivo. Por lo tanto, se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de referencia citado por Trujillo.

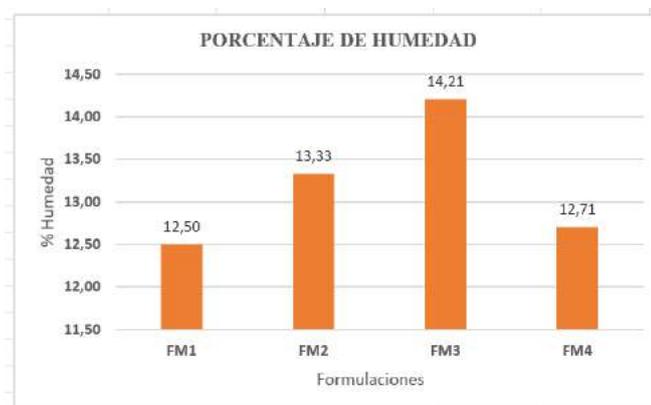


Gráfico 3-3: Porcentaje de humedad de las biopelículas.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Se analizó el Gráfico 3-3, en el cual se evidencia que la formulación FM1 presenta un porcentaje de humedad de 12,50%, mientras que la formulación FM3 presenta una mayor humedad de 14,21%. Con respecto a lo citado por (Trujillo, 2014, p.69), donde menciona que a mayor humedad existe un mayor ataque microbiano, por ende, la lámina se vuelve más susceptible a la ruptura. Por esta razón se seleccionó la biopelícula FM1, puesto que posee un menor porcentaje de humedad (12,50%).

3.4.3.2. Ensayo de Solubilidad

Tabla 11-3: Resultados del ensayo de solubilidad del bioplástico

Formulación	Réplicas	Solubilidad (%)	Solubilidad Promedio
FM1	1	42,86	39,90%
	2	38,36	
	3	38,46	
FM2	1	43,33	42,25%
	2	40,68	
	3	42,74	
FM3	1	34,15	34,64%
	2	33,93	
	3	35,85	
FM4	1	37,19	38,78%
	2	38,21	
	3	40,95	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

En la tabla 11-3 se evidencian los resultados del ensayo de solubilidad de los bioplásticos. Según (Trujillo, 2014, p.75), las láminas del bioplástico deben contener una solubilidad de 14,84% a 60,96%. Se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido. Además, (Parra, 2019, p.51) menciona que cifras menores al 70% son útiles para empaques de alimentos, mientras que cifras mayores al 70% se emplean como recubrimientos solubles de cápsulas en el área de farmacia.

A continuación, se muestra el Gráfico 4-3 el cual evidencia los valores de la solubilidad en agua de las láminas biodegradables. López (2011, p.108), menciona que la solubilidad de las biopelículas es una característica importante, debido a que este factor establece la aplicación de las láminas. Si la película es muy soluble esta es útil para recubrimiento de pastillas por lo que necesita que se disuelvan, mientras que si no se disuelven con facilidad esta es útil para cubrir los alimentos

(Charro, 2015, p.68). Con respecto a lo citado anteriormente, cabe mencionar que los porcentajes de solubilidad están dentro de lo establecido por Trujillo. Se eligió la lámina FM1 puesto que su valor (39,90%) está en un rango intermedio con respecto al resto de valores.

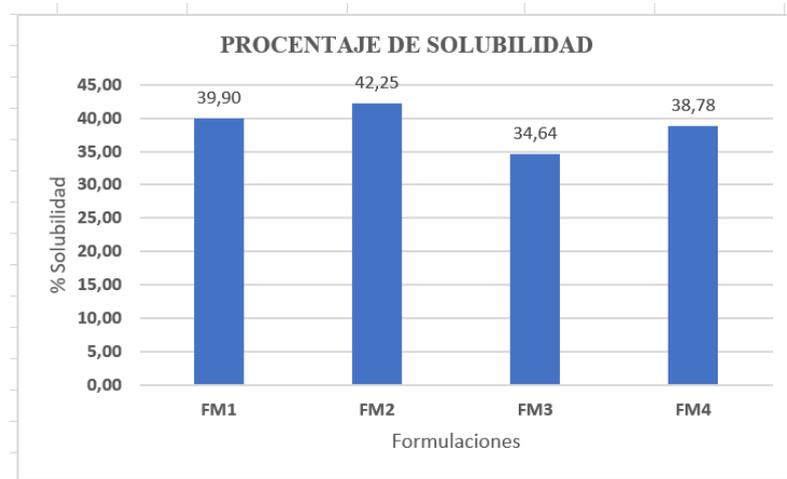


Gráfico 4-3: Porcentaje de solubilidad en el agua de las biopelículas.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.4.3.3. Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua

Tabla 12-3: Resultados del ensayo de permeabilidad al vapor de agua del bioplástico

Formulación	Réplicas	Permeabilidad $\left(\frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{MPa}}\right)$	Permeabilidad Promedio
FM1	1	0,09	$0,07 \frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{MPa}}$
	2	0,06	
	3	0,06	
FM2	1	0,16	$0,12 \frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{MPa}}$
	2	0,10	
	3	0,09	
FM3	1	0,09	$0,08 \frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{MPa}}$
	2	0,06	
	3	0,08	
FM4	1	0,11	$0,10 \frac{\text{g} \times \text{mm}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{MPa}}$
	2	0,12	
	3	0,08	

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Los valores de permeabilidad al vapor de agua oscilan de 0.03 a 0.374 g.mm/h.m².MPa (Trujillo, 2014, pp.86-87). La Tabla 12-3 muestra los datos obtenidos en este ensayo, cuyos resultados se encuentran dentro del rango mencionado. Por otra parte, (Guamán, 2019, p.49) menciona que las láminas biodegradables tienen como objetivo evitar el paso de humedad entre los alimentos y el medio circundante, por ende, los bioplásticos deben contener cifras lo más bajo posible en cuanto a la permeabilidad al vapor de agua se refiere. Además (Heredia y Pulgar, 2019, p.38), señalan que la glicerina hace que la lámina plástica aumente su permeabilidad al vapor de agua, esto se debe a que dicho plastificante es de naturaleza hidrofílica y por ende forma fácilmente puentes de hidrogeno con las moléculas de agua.

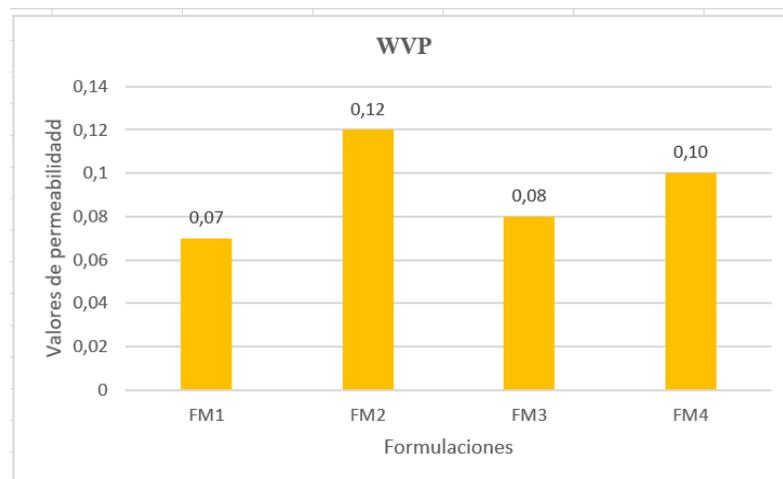


Gráfico 5-3: Permeabilidad al vapor de agua (WVP).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

El Gráfico 5-3, muestra los valores altos y bajos obtenidos en el ensayo de WVP para los bioplásticos a base de almidón de triticale y cascarilla de arroz. Trujillo (2014, p.25), menciona que la permeabilidad al vapor de agua es una propiedad importante de las biopelículas ya que actúan como barrera al paso de moléculas de vapor de agua, ayudando a reducir la pérdida de peso en frutas y vegetales. Además, (Trujillo, 2014, p.87) también establece que la WVP debe poseer valores mínimos puesto que una de las principales características de una lámina plástica es prevenir o reducir la transferencia de vapor de agua entre el alimento y el medio circundante. Por este motivo se seleccionó la lámina FM1, cuyo valor fue menor (0,07 g.mm/h.m².MPa) con respecto a los resultados de las otras formulaciones.

3.4.3.4. Ensayo de espesor del bioplástico

Tabla 13-3: Resultados del ensayo de espesor

Formulación	Espesor (mm)	Rango Estándar	Norma
FM1	0,10	0,07 – 0,20	(NTE INEN 2542, 2010)
FM2	0,13		
FM3	0,09		
FM4	0,13		

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

En la tabla 13-3 se muestra los resultados del ensayo de espesor realizado a los bioplásticos a base de triticale y cascarilla de arroz. La norma (NTE INEN 2542, 2010, p.3), establece que las láminas plásticas deben cumplir con un límite estándar de 0,07 a 0,20 mm de espesor. Se comparó los resultados obtenidos con el rango establecido por la normativa y se puede verificar que los valores adquiridos se encuentran dentro del requisito decretado. Además, (Trujillo, 2014, pp.23-24) menciona que el espesor de las biopelículas es un parámetro importante, debido a que puede influir en las propiedades mecánicas y de barrera del material, afectando el rendimiento de embalaje.

3.4.3.5. Caracterización mecánica del bioplástico

Tabla 14-3: Resultados de la caracterización mecánica de los bioplástico a base de triticale y de cascarilla de arroz

Formulación	Ensayo de tracción	Resultado	Rango Estándar
FM1	Módulo de elasticidad [MPa]	1,396.E+00	0,17 – 211,64
	Esfuerzo de fluencia [MPa]	1,17	0,17 – 7,76
	Esfuerzo máximo [MPa]	1,28	0,50 – 25,60
	Porcentaje de elongación [%]	10,80	20,70 – 121
FM2	Módulo de elasticidad [MPa]	9,310.E-0.1	0,17 – 211,64
	Esfuerzo de fluencia [MPa]	0,88	0,17 – 7,76
	Esfuerzo máximo [MPa]	1,02	0,50 – 25,60
	Porcentaje de elongación [%]	12,24	20,70 – 121

FM3	Módulo de elasticidad [MPa]	1,590. E+00	0,17 – 211,64
	Esfuerzo de fluencia [MPa]	1,01	0,17 – 7,76
	Esfuerzo máximo [MPa]	1,12	0,50 – 25,60
	Porcentaje de elongación [%]	10,08	20,70 – 121
FM4	Módulo de elasticidad [MPa]	9.570.E-01	0,17 – 211,64
	Esfuerzo de fluencia [MPa]	0,82	0,17 – 7,76
	Esfuerzo máximo [MPa]	0,94	0,50 – 25,60
	Porcentaje de elongación [%]	10,40	20,70 – 121

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales - LENMAV.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Se realizó la caracterización mecánica de los bioplásticos, en la Tabla 14-3 se reflejan los resultados arrojados por el Laboratorio LENMAV (ver Anexo F), los mismos que se compararon con (Ledesma et al., 2021, p.49) en su estudio “Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables”, se puede observar que los valores de los tres primeros parámetros se encuentran dentro del rango de referencia establecido para todas las láminas. Sin embargo, el porcentaje de elongación de las 4 formulaciones no están dentro del límite mencionado. Por otra parte, (Silva, 2017, p.20) indica que cantidades altas de glicerina da como resultado la obtención de películas con elevado porcentaje de elongación, debido a que este aditivo posee acción plastificante, lo que permite un desplazamiento molecular más elevado y una estructura menos rígida.

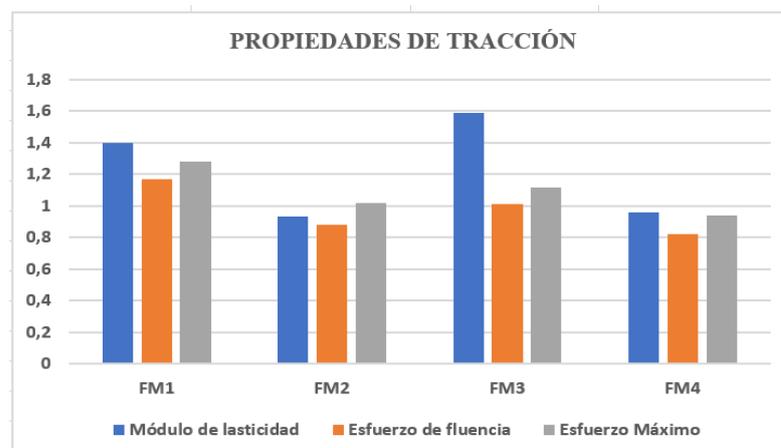


Gráfico 6-3: Propiedades de tracción de los bioplásticos.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

El Gráfico 6-3, indica los valores obtenidos en el ensayo de tracción de los bioplásticos a base de almidón de triticale y cascarilla de arroz. Trujillo (2014, p.29), señala que la prueba de tracción es un elemento importante para medir la resistencia mecánica, dicho ensayo se desencadena en tres propiedades: resistencia a la tracción, alargamiento a la ruptura y módulo de elasticidad. Además, señala que las biopelículas deben poseer una elevada resistencia a la tracción y que el porcentaje de alargamiento define la aplicación de las láminas. De acuerdo con los resultados obtenidos se seleccionó la lámina FM1, la cual presenta mejores propiedades de tracción ya que tiene un módulo de elasticidad de 1,396.E+00 MPa, esfuerzo de fluencia 1,17 MPa, esfuerzo máximo 1,28 MPa y un porcentaje de elongación de 10,80%.

3.4.4. Resultados del análisis microbiológico del bioplástico

Tabla 15-3: Análisis microbiológico del bioplástico

Parámetro	Bioplástico a base de almidón de triticale y cascarilla de arroz
Aerobios mesófilos (UFC/g)	10
Mohos y Levaduras (UFC/g)	<10
Coliformes totales (UFC/g)	Ausente
Coliformes fecales (UFC/g)	Ausente

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Agua y Alimentos (SAQMIC).

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

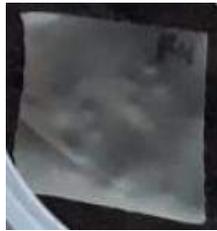
En el Anexo I, se reflejan los resultados del análisis microbiológico del bioplástico FM1, reportados por el Laboratorio SAQMIC. En la tabla 15-3, se observa la presencia de aerobios mesófilos, sin embargo, la Guía Técnica para el Análisis Microbiológico de Superficies en Contacto con Alimentos y Bebidas de Perú, menciona que el límite permitido de aerobios mesófilos es < 25 UFC/superficie muestreada, para envases, botellas y bolsas de plástico. También se analizaron parámetros como: mohos y levaduras, coliformes totales y fecales cuyos resultados muestran que no existe ninguna contaminación de este tipo. Estos datos coinciden con el estudio realizado por (Ledezma et al., 2021, p.51), donde el bioplástico obtenido presenta ausencia de microorganismos. Además, mencionan que cuando el bioplástico se encuentran libre de microorganismos patógenos, este puede ser utilizado como envolturas de alimentos.

3.5. Ensayo de biodegradabilidad de los bioplásticos

3.5.1. Biodegradabilidad en el suelo

Se determinó la biodegradabilidad de las películas, para ello se colocaron las láminas bajo tierra sometidas a diferentes condiciones atmosféricas, como: luz, oscuridad, aire, además, cada 8 días se regó agua sobre las biopelículas con el fin de simular la etapa de lluvia. En la tabla 16-3 se observa que las biopelículas se descomponen con el pasar de los días, es decir que presentan cambios visibles en cuanto a su estructura física. Se notó que las láminas iban tomando una forma rígida y quebradiza mientras transcurrían los días. A partir del día 72 inició la etapa de biodegradación, esto es gracias a que los microorganismos que se encuentran en la tierra comienzan a digerir la lámina, la cual está compuesta de macronutrientes como proteínas, lípidos y polisacáridos como es el almidón. Para que el proceso de degradación acelere se debe esparcir agua sobre las películas, puesto que las cadenas de amilosa absorben grandes cantidades de agua convirtiendo a la biopelícula en una matriz susceptible al ataque de los microorganismos (Moreno, 2015, p.73). Se evidenció una degradación de más del 50% en el lapso de 90 días, cumpliendo con lo decretado por la Norma Europea (EN 13432, 2002, párr.4) la cual especifica, que un material compostable debe degradarse como mínimo el 90% de su apariencia física en el lapso de 6 meses. En la investigación realizada por (Meza et al., 2019, p.79), se obtuvo una biodegradabilidad del 64,21% en un periodo de 92 días. Por otro lado, (Peinado, 2015, p.23) en su estudio alcanzó una degradación del 97% en 73 días. Es válido indicar, que los resultados obtenidos son favorables ya que se busca disminuir la contaminación ambiental, generado por los plásticos provenientes del petróleo.

Tabla 16-3: Resultados de la biodegradación de las láminas en el suelo

Biodegradabilidad del biopolímero en el suelo				
Día	FM1	FM2	FM3	FM4
0				

9				
18				
27				
36				
45				
54				

63				
72				
81				
90				

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

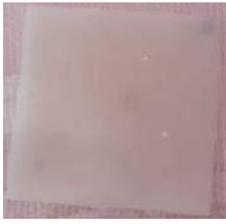
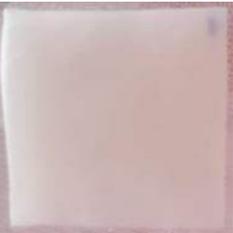
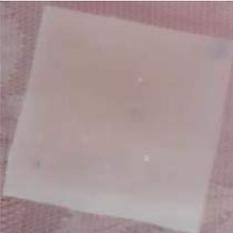
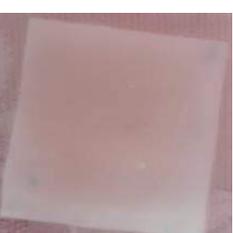
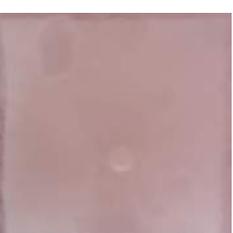
3.5.2. Biodegradabilidad en agua

La tabla 17-3 indica la biodegradabilidad hidrolítica de los biopolímeros, se analizó la descomposición de las láminas cada 3 días. Se añadió 5mL de agua (la cual tenía un pH 7,0) cada 5 días con el fin de compensar el agua absorbida por los gránulos de almidón. A partir del día 18, se observó que inició la etapa de biodegradación. La investigación realizada por Ledesma et al., (2021, p.51) menciona que sus láminas alcanzaron una degradación del 50% en un lapso de 20 días. Mientras que Rosales (2016, p.35), reportó que el bioplástico se degradó en un mes, además añade que cuando se coloca en agua a la biopelícula está se degrada con gran facilidad, esto se debe a que las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón son muy frágiles en presencia del agua. Por lo tanto, los resultados obtenidos concuerdan con lo establecido por la norma (EN 13432, 2002, párr.4). En el estudio realizado por (Ruiz et al., 2009, p.72), se menciona que los biopolímeros a base de almidón están compuestos por dos fragmentos, una parte amorfa constituida por cadenas de amilosa la cual es capaz de absorber agua, por lo tanto, el ataque

enzimático es mucho mayor que en la zona cristalina (formada por amilopectina), por ende, la velocidad y el porcentaje de biodegradación es superior en la fracción amorfa del gránulo de almidón.

Tabla 17-3: Resultados de la biodegradación de las láminas en agua

Biodegradabilidad del biopolímero en agua				
Día	FM1	FM2	FM3	FM4
0				
3				
6				
9				

12				
15				
18				
21				
24				
27				

30				
33				

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.6. Aplicación del bioplástico como empaque de alimentos

3.6.1. Empacado de uvas (*Vitis vinífera*) almacenadas al ambiente

La tabla 18-3 indica el tiempo de vida útil de las uvas (*Vitis vinífera*) almacenadas al ambiente, sometidas a diferentes empaques, la muestra 1 empacada con bioplástico a base de almidón de triticale y cascarilla de arroz, la muestra 2 empacada con plástico sintético proveniente del petróleo, y la muestra 3 no contiene empaque. Se analizó la vida útil de la fruta pasando 1 día, donde a partir del día 8 se pudo evidenciar que la muestra 3 presentaba un olor agrio, de igual manera, se observó que la misma muestra empezó a deshidratarse. León (2015, p.11), señala que el porcentaje de humedad en frutas y verduras varía entre 90-95% y que la disminución de este parámetro es el factor principal de deterioro, ocasionando daños en el alimento. Por otra parte, la muestra 1 y 2 físicamente no presentaban cambios. A partir del día 16 se observó la presencia de moho en las uvas de la muestra 3, mientras que en el día 18 la muestra 2 presentó moho en la parte del raspón (rama que mantiene unido a las uvas). El día 20 se observó que la muestra 1 y 2 empezaban a deteriorarse mientras que la muestra 3 ya estaba descompuesta física y químicamente puesto que adquirió un olor agrio y desagradable que iba aumentando con el transcurso de los días y la presencia de microorganismos (mohos) era evidente en esta muestra. Por lo tanto, cabe mencionar que el bioplástico cumple una función similar a la del plástico común, que es la conservación de alimentos. La aplicación de las películas reduce la transferencia de gases y la tasa de permeabilidad al oxígeno modificando las emisiones de etileno y el crecimiento microbiano (Moreno, 2015, p.94). Además, (León, 2015, p.29) menciona que los biopolímeros destinados a la industria alimentaria tienen como función cubrir el alimento,

formando una barrera de protección entre el producto y el entorno que lo rodea. De esta manera se protege el alimento y por ende su vida útil se prolonga, retardando la migración de humedad y reduciendo el oxígeno.

Tabla 18-3: Empacado de uvas almacenadas al ambiente

Día 0		
Muestra 1 con bioplástico	Muestra 2 con plástico sintético	Muestra 3 sin plástico
		
Día 2		
		
Día 4		
		
Día 6		



Día 8



Día 10



Día 12



Día 14



Día 16



Día 18



Día 20



Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.6.2. Empacado de uvas (*Vitis vinífera*) almacenadas en refrigeración

La vida útil es el tiempo durante el cual el alimento resulta apto para consumo humano, es decir que determina el tiempo que demora el producto alimenticio en alcanzar niveles inaceptables para su consumo (Toalombo, 2014, p.76). Para este ensayo se seleccionó el mejor bioplástico, siendo este el FM1, puesto que presentó mejores propiedades fisicoquímicas y mecánicas, por ende, fue útil para determinar el tiempo de vida útil de la muestra 1.

La tabla 19-3, refleja el periodo de vida útil de las uvas almacenadas en refrigeración a una temperatura de 4°C durante 28 días. Cabe mencionar, que cuando se somete el alimento en refrigeración este ayuda prolongar la vida de los alimentos, como se puede evidenciar hasta el día 22 las uvas no presentan daños físicos. El uso del frío permite alargar la vida útil de los alimentos frescos, reduciendo su velocidad de respiración (León, 2015, p.11). Es importante señalar que las uvas poseen una velocidad de respiración baja y por ende su proceso de descomposición tarda más tiempo. A mayor velocidad de respiración se acelera el deterioro de los alimentos después de la cosecha (León, 2015, p.9). A partir del día 24, la piel de las uvas de la muestra 3 (sin plástico) presentó arrugamiento. El día 28 se retiró los plásticos de las muestras 1 y 2 para observar si hubo cambios en la estructura de la fruta, se evidenció que la muestra 1 empezó un proceso de deshidratación puesto que presentó una apariencia poco suave y la piel de la uva estaba ligeramente arrugada, en la muestra 2 (cubierta con plástico común) se reflejó presencia de moho en la parte del raspón de las uvas. Para que las uvas tengan una vida aproximada de 1 a 4 meses deben estar almacenadas a una temperatura de -1 a 0°C (León, 2015, p.44). Por otra parte, (Toalombo, 2014, p.80) indica que la biopelícula impide el paso del vapor de agua, dificultando el crecimiento microbiano e incrementando el periodo de vida útil de la fruta, por ende, se conservan la calidad del alimento.

Tabla 19-3: Empacado de uvas almacenadas en refrigeración

Día 0		
Muestra 1 con bioplástico	Muestra 2 con plástico sintético	Muestra 3 sin plástico
		
Día 2		



Día 4



Día 6



Día 8



Día 10



Día 12



Día 14



Día 16



Día 18



Día 20



Día 22



Día 24



Día 26



Día 28



Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

3.7. Comprobación de las Hipótesis

3.7.1. Hipótesis 1

H₁: El porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción del almidón de triticale y cascarilla de arroz depende de las variables: revolución por minuto (RPM) y tiempo.

H₀: El porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción del almidón de triticale y cascarilla de arroz no depende de las variables: revolución por minuto (RPM) y tiempo.

- Prueba de ANOVA para el Triticale.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1136,5	378,85	11,47	0,001
Error	12	396,4	33,03		
Total	15	1532,9			

Figura 1-3: ANOVA para el triticale.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

- Prueba de ANOVA para la cascarilla de arroz.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	8,089	2,6963	9,53	0,002
Error	12	3,396	0,2830		
Total	15	11,484			

Figura 2-3: ANOVA para la Cascarilla de arroz.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Las Figuras 1-3 y 2-3, hacen referencia a la prueba ANOVA del almidón de triticale y del almidón de la cascarilla de arroz respectivamente. Dicha prueba indica que $p < \alpha$, es decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Por lo tanto, las variables (RPM y tiempo) influyen significativamente sobre el porcentaje de rendimiento de extracción de los dos almidones. Cabe mencionar, que a mayor RPM (15000) y a mayor tiempo (1min) para el triticale y (2min) para la cascarilla de arroz, se obtiene un mejor rendimiento para los dos almidones.

3.7.1. Hipótesis 2

H_1 : Las formulaciones planteadas influyen en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.

H_0 : Las formulaciones planteadas no influyen en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.

- Prueba de ANOVA para el análisis de humedad

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	4,7175	1,5725	8,97	0,030
Error	4	0,7011	0,1753		
Total	7	5,4186			

Figura 3-3. ANOVA para el análisis de humedad.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

La Figura 3-3 indica el análisis de varianza (ANOVA) para el ensayo de humedad, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$) se concluye que $p < \alpha$, es decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Esto quiere decir que las formulaciones planteadas si influyen en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.

- Prueba de ANOVA para el análisis de solubilidad

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	91,03	30,342	9,04	0,006
Error	8	26,85	3,356		
Total	11	117,87			

Figura 4-3: ANOVA para el análisis de solubilidad.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Se realizó la prueba de ANOVA para el análisis de solubilidad, en la Figura 4-3 se evidencia que $p < \alpha$, es decir que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se puede afirmar con un nivel de significancia del 5% que las formulaciones planteadas sí influyen en los porcentajes obtenidos de solubilidad.

- Prueba de ANOVA para el análisis de permeabilidad al vapor de agua

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,003467	0,001156	5,33	0,026
Error	8	0,001733	0,000217		
Total	11	0,005200			

Figura 5-3: ANOVA para el análisis de permeabilidad.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Según el análisis de varianza (ANOVA) se puede observar en la Figura 5-3 que $p < \alpha$, por lo tanto, con un nivel de significancia del 0,05 se puede afirmar que se rechaza la hipótesis nula. Es decir, que con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que es razonable atribuir que las formulaciones planteadas repercuten en las propiedades fisicoquímicas de las películas en este caso influye en la permeabilidad al vapor de agua.

- Prueba de ANOVA para el análisis del espesor

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0,001492	0,000497	4,97	0,031
Error	8	0,000800	0,000100		
Total	11	0,002292			

Figura 6-3: ANOVA para el análisis del espesor.

Realizado por: Guamán, Jacqueline, 2021.

Se realizó un análisis de varianza o también conocida como ANOVA, la Figura 6-3 muestra que $p < \alpha$, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Se comprobó que las diferentes formulaciones planteadas de las películas a base de triticale y cascarilla de arroz, influyen significativamente en el espesor de las láminas plásticas.

CONCLUSIONES

- La extracción del almidón de triticale y de la cascarilla de arroz se realizó en base al diseño factorial 2^k , el cual dio lugar a cuatro formulaciones cada una con cuatro repeticiones. Además, se empleó el método de extracción por vía húmeda cuyo porcentaje de rendimiento fue de 50,73% para el almidón de triticale y 5,22% para el almidón de cascarilla de arroz. Se realizó la caracterización fisicoquímica de los dos almidones, cuyos valores obtenidos se compararon con la norma NTE INEN 1456, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y en base a los resultados obtenidos por otros autores en estudios similares. El contenido de amilosa para el triticale y cascarilla de arroz fue de 34,28% y 25,17% respectivamente, la cantidad de almidón necesaria para la elaboración de las biopelículas depende del porcentaje de amilosa.
- Las formulaciones para la elaboración del bioplástico se efectuaron en base al diseño factorial 2^k . Mediante las pruebas fisicoquímicas y mecánicas se determinó la formulación óptima, siendo esta la lámina FM1 cuyos resultados obtenidos fueron de 12,50% para la humedad, 39,90% para la solubilidad, los valores de este parámetro permiten determinar si el bioplástico es útil para empaque de alimentos o recubrimiento de cápsulas, 0,07 $\text{g}\times\text{mm}/\text{h}\times\text{m}^2\times\text{MPa}$ para la permeabilidad al vapor de agua, esta es una propiedad importante ya que actúa como barrera entre el alimento y el vapor de agua circundante, y 0,1 mm de espesor, este último parámetro concuerda con lo establecido con la norma INEN 2542. En cuanto a las propiedades mecánicas la lámina FM1 presentó mejores resultados de tracción con un módulo de elasticidad de 1,396.E+00, esfuerzo de fluencia 1,17 MPa, esfuerzo máximo 1,28 MPa y un porcentaje de elongación de 10,80%. La combinación de los aditivos necesarios para la elaboración de esta biopelícula fue de 2,80 g de almidón, 0,80mL de glicerina, 30mL de agua destilada y 2,00mL de ácido acético.
- La biodegradabilidad de los bioplásticos se efectuó en medio acuoso y bajo tierra en base a la norma EN 13432. Se determinó que la degradación en medio acuoso fue más eficiente, debido a que las láminas se degradaron en 33 días más del 50% de su estructura física, esto se debe a que se añadió 5mL de agua cada 5 días con el fin de compensar el agua absorbida por los gránulos de almidón, puesto que este polisacárido está formado por dos fragmentos una parte amorfa y otra cristalina. La zona amorfa está constituida por amilosa la cual es capaz de absorber agua, por ende, la velocidad de biodegradación es mayor. Además, se determinó el tiempo de vida útil de las uvas (*Vitis vinífera*) empacadas con el bioplástico y almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración, cuyos resultados evidenciaron que

a temperatura de refrigeración (4°C) se alarga la vida de los alimentos. Se comprobó que la biopelícula cumple con la misma función que el plástico común, la de proteger el alimento.

RECOMENDACIONES

- Para la elaboración del bioplástico se recomienda trabajar con materias primas con alto contenido de amilosa para poder obtener películas biodegradables con mejores propiedades mecánicas útiles en la industria de alimentos.
- En cuanto a la materia prima (triticale y cascarilla de arroz) es adecuado triturar usando un molido, con el fin de conseguir un mayor porcentaje de rendimiento del gránulo de almidón.
- El proceso de obtención del almidón debe realizarse con buenas prácticas de higiene, puesto que de esta etapa depende la calidad del bioplástico empleado para la industria del empaque de alimentos.
- Para el proceso de triturado, se recomienda llevar el almidón a molienda para mejorar el rendimiento y el tamaño del gránulo, y así evitar ciertas anomalías en las láminas plásticas.
- Continuar con estudios de obtención de bioplásticos a partir del almidón de triticale y cascarilla de arroz, con el fin de obtener más información y verificar la utilidad de estas láminas a nivel industrial.
- Para el ensayo de biodegradabilidad en tierra es conveniente realizar un análisis microbiológico de la muestra de suelo a utilizar, para identificar los microorganismos que interfieren en el proceso de descomposición.

GLOSARIO

Biodegradación: Es la capacidad que poseen las materias primas naturales para degradarse en un periodo de tiempo corto, al estar en contacto en diversas condiciones ambientales (Colina, 2019, p.13).

Polímeros: Es un compuesto químico formado por macromoléculas compuestas por moléculas más pequeñas unidas entre si denominados monómeros (Charro, 2015, p.14).

Plastificantes: Son sustancias de bajo peso molecular, generalmente son líquidos, incoloros, inodoros y de baja volatilidad, se usan para aumentar la flexibilidad y alargamiento de los biopolímeros (Trujillo, 2014, p.22).

Plásticos biodegradables: Son aquellos que pueden ser degradados por la naturaleza, mediante procesos hidrolíticos o enzimáticos cuyo resultado es la producción de subproductos no tóxicos (Vargas, 2015. p.12).

Transición vítrea: Es el cambio en las características de la película de almidón al estar en presencia de calor, al aumentar la temperatura el material pasa de solido quebradizo a flexible (Pilla, 2017, pp.15-16).

BIBLIOGRAFÍA

ALBA, M. Estudio del efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades de películas de harina triticale. [en línea]. 2016. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/15456/13684%20201%20TESIS%20Alba%20Maria%20Natalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

AMADOR, C.Y. *Obtención, purificación y caracterización de almidón de raíz de calabacilla loca (Cucurbita foetidissima HBK) y sus potenciales aplicaciones* [en línea]. Buenavista - México: Universidad Autónoma Agraria «Antonio Narro». 2018. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/45225/K%2065487%20Amador%20LLanas%2c%20C%2c%20a9sar%20Yair.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ANGUETA, M.E. y GIRALDO, L.J. *Elaboración de envases bioplásticos mediante el aprovechamiento de materias primas vegetales con fines industriales (Trabajo de titulación)* [en línea]. Los Ríos-Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 2019. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4177/1/T-UTEQ%200071.pdf>.

ARIAS, R. y MENESES, J. *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016* [en línea]. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 2016. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>.

ARISTIZÁBAL, J. y SÁNCHEZ, T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* [en línea]. Roma: FAO. ISBN 978-92-5-305677-4. 2007. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

CÁRDENAS, S. Propuesta de internacionalización de las pymes del sector plástico y caucho. *Universidad Espiritu Santo*. 2017. pp. 89.

CASTELO, J.C. *Formulación, elaboración y control de calidad de paté de hígado de cuy envasado al vacío para la incorporación de productores cuyículas Señor Cuy (Trabajo de titulación)* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2579/1/56T00347.pdf>.

CASTRO, N., RUFACH, H., CAPELLINO, F., DOMÍNGUEZ, R. y PACCAPELO, H. Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros. 2011. *RIA: Revista Investigaciones Agropecuarias*, vol. 37, no. 3, pp. 281-289.

CHARRO ESPINOSA, M.M. *Obtención de plástico biodegradable a partir del almidón de patata* [en línea]. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador. 2015. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>.

CHUR PÉREZ, G. *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería* [en línea]. S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf.

COLINA, D. *Propuesta de diseño de un proceso de producción de envases desechables biodegradables a base de cascarilla de arroz* [en línea]. Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil. 2019. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41271/1/TESIS%20Colina%20L%C3%B3pez%20Daniel%20Israel.pdf>.

CRESPO, M. y RIVERA, J. *Estudio del proceso de obtención de empaques biodegradables a partir del almidón de diferentes tubérculos: papa (*Solanum tuberosum*), yuca (*Manihot esculenta*), papa china (*Colocasia esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*)* [en línea]. Los Ríos-Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 2018. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2930/1/T-UTEQ-0055.pdf>.

CRIOLLO, J. *Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de almidón de banano* [en línea]. Machala: Universidad Técnica de Machala. 2019. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14105/1/T-2894_CRIOLLO%20FEIJOO%20JULIANA%20LISBETH.pdf.

CUENCA, M. y MONCADA, M. *Preparación de un recubrimiento comestible a base del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) para aplicaciones alimenticias (Trabajo de titulación)* [en línea]. Machala: Universidad Técnica de Machala. 2020. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15583/1/T-3561_CUENCA%20TORRES%20MICHELLE%20ESTEFANIA.pdf.

DEMERA, S. y ROMERO, B. *Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción (Trabajo de titulación)* [en línea].

Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 2018. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/807/TTMA5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

EL TELÉGRAFO. Lo cotidiano está ligado a los plásticos. *El Telégrafo* [en línea]. 2019. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/plasticos-contaminacion-ecuador>.

EN 13432. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje. [en línea]. 2002. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://ecozema.com/es/focus/norma-en13432/>.

ESCOBAR, D., SALA, A., SILVERA, C., HARISPE, R. y 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. 2009. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, no. 4, pp. 33-36. ISSN 16886593. DOI 10.26461/04.07.

FEDNA. Trigo duro nacional. [en línea]. 2000. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/premio>.

GONZÁLES, J. *Desarrollo de un polímero biodegradable a partir de almidón de semilla de ataco, Amaranthus quitensis L (Tesis de doctorado)* [en línea]. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2018. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/9535/Gonzales_gj.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

GUAMÁN BRAVO, J.M. *Obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de cascara de papa para su aplicación industrial (Trabajo de titulación)* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>.

HEREDIA JARA, D.A. y PULGAR ASTUDILLO, L.J. Comparación de dos métodos de extracción de almidón de *Colocasia esculenta* (Malanga blanca) para obtención de un polímero biodegradable (Trabajo de titulación). 2019. pp. 162.

LALALEO CÓRDOVA, D.J. *Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir harina y residuos de banano de rechazo (Trabajo de titulación)* [en línea]. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2017. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24739/1/AL%20621.pdf>.

LEDESMA, A., DALGO, V., FLORES, L. y CHANGO, G. Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. 2021. *Revista Dominio de las Ciencias*, vol. 7, no. 4, pp. 39-56. ISSN 2477-8818. DOI <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>.

LEÓN, E. *Determinación de la vida útil de frutas inmersas en dos tipos de geles a T° ambiente en periodos estacionales* [en línea]. Bellavista - Callao: Universidad Nacional de Callao. 2015. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/991/005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LLERENA, J.L. y MONZÓN, L.J. *Elaboración de un envase biodegradable a partir del almidón obtenido de arroz quebrado (Oryza Sativa), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (Mangifera indica)* [en línea]. Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María. 2017. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6667/42.0158.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LÓPEZ, O.V. *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (Tesis doctoral)* [en línea]. Doctor en Ciencias Exactas, área Química. S.l.: Universidad Nacional de La Plata. 2011. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2651>.

MENESES, J., CORRALES, C.M. y VALENCIA, M. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. 2007. *Revista EIA*, no. 8, pp. 57-67.

MERCHANCANO, J., BOLAÑOS, A., ARCILA, M. y RODRÍGUEZ, P. Obonuco triticales 98: nueva especie forrajera en Nariño. [en línea]. 1998. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3842/1/20061024163648_Obonuco%20triticale%2098.pdf.

MEZA, P. *Elaboración de bioplásticos a partir del almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio (Trabajo de titulación)*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2016.

MEZA, P., QUIPUZCO, L. y MEZA, V. Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. 2019. *Instituto Revista del Investigación FIGMMG-UNMSM*, vol. 22, no. 43, pp. 67-80. ISSN 1682-3087. DOI 10.15381/iigeo.v22i43.16691.

MIRANDA, P., MARRUGO, Y.A. y MONTERO, P.M. Caracterización funcional del almidón de frijol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y cuantificación de su almidón resistente. 2013. *TecnoLógicas*, no. 30, pp. 17-32. ISSN 2256-5337, 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.80.

MOGROVEJO, A. *Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (Oxalis tuberosa Molina) variedad amarilla* [en línea]. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. 2019. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>.

MORENO, G. *Utilización de harina de plátano (Musa balbisiana), en el desarrollo de películas biodegradables activas (Trabajo de titulación)* [en línea]. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2015. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11979/1/AL%20572.pdf>.

MOROCHO, M., DALGO, V., FLORES, L. y CHANGO, G. Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. 2021. *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, no. 4, pp. 623-637. ISSN 2477-8818.

NATARÉN HERNÁNDEZ, I. Composición Química de 15 Genotipo de Triticale Forrajero (X Triticosecale Wittmack) cosechados en la Localidad «Campo Sagrado», Torreón, Coahuila durante el ciclo 2009-2010. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*. 2012. pp. 61.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Plástico hasta en el aire que respiras. www.nationalgeographic.com.es [en línea]. 2019. [Consulta: 30 marzo 2022]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/plastico-hasta-aire-que-respiras_14331.

NTE INEN 1456. *Reactivo para análisis. Almidón soluble (para idiometría). Métodos de ensayo. Primera edición* [en línea]. 1986. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1456.pdf>.

NTE INEN 2542. *Laminas Plásticas. Requisitos. Primera Edición* [en línea]. 2010. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2542.pdf>.

OÑATE ZÚÑIGA, L.E. *Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (*Fragaria x ananassa* Duchesne) en base a almidón de papa china (*Colocasia esculenta* Schott) de la variedad blanca (Trabajo de titulación)* [en línea]. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2018. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28391/1/AL%20685.pdf>.

PARRA, J. Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado del petróleo (Trabajo de titulación). 2019. pp. 96.

PEINADO DEVÍS, M. *Estudio de la biodegradabilidad y desintegración de películas a base de almidón y PVA que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas* [en línea]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 2015. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>.

PILLA, I. *Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) y plastificantes* [en línea]. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 2017. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17060/1/CD-7643.pdf>.

POSTIGO MÁRQUEZ, R.G. Análisis y uso de productos alternativos a base de maíz y cascara de arroz para el proceso de envases biodegradables. *Universidad Católica San Pablo*. 2019. pp. 62.

REMEDIOS MONTENEGRO, E. Aprovechamiento de la cáscara de arroz para la producción de bioplásticos. *Universidad de Cádiz*. 2020. pp. 40.

ROSALES, A. *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo –Abril 2016* [en línea]. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 2016. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>.

RUIZ, G. *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*. Medellín: Universidad EAFIT. 2005.

RUIZ, G. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. 2006. *Revista Ingeniería y Ciencia*, vol. 2, no. 4, pp. 5-28.

RUIZ, G., MONTOYA, C. y PANIAGUA, M. Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca. 2009. *Revista EIA*, no. 12, pp. 67-78.

SILVA, M. *Valoración de la oca (Oxalis tuberosa) para la obtención de mezclas biopoliméricas*. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 2017.

TAPIA NÚÑEZ, L. Políticas para la gestión de plásticos en el Ecuador. 2014.

TOALOMBO, O. *Estudio de la aplicación de un recubrimiento comestible sobre el tiempo de vida útil de la mora de castilla (Rubus glaucus) (Trabajo de titulación)* [en línea]. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 2014. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8447/1/AL%20547.pdf>.

TORRES POMA, K. *Caracterización Química y Valoración Nutritiva del rastrojo de arroz (Oryza sativa L.), en los cantones Macará y Zapotillo de la provincia de Loja*. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja. 2018.

TRUJILLO RIVERA, C. *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot esculente Crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos* [en línea]. Puerto Maldonado - Perú: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD. 2014. [Consulta: 1 febrero 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UN>.

UBILLA, Y. *La evolución de la industria plástica en el Ecuador periodo 2013-2017 (Trabajo de titulación)* [en línea]. Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil. 2019. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vpLmHBfGO-oJ:repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41415/1/T-UBILLA%2520ROJAS%2520YANINA%2520JESSICA.pdf+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>.

VARGAS, J. *Análisis e implementación del proceso de fabricación para una película biodegradable empleada en empaques multicapa* [en línea]. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México. 2015. Disponible en:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8419/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

VILLARROEL, P., GÓMEZ, C., VERA, C. y TORRES, J. Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. 2018. *Revista chilena de nutrición*, vol. 45, no. 3, pp. 271-278. ISSN 0717-7518. DOI 10.4067/s0717-75182018000400271.



DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Ing. Jonathan Parreno Ugallac
ANALISTA DE BIBLIOTECA

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN Y OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN

Molienda del triticale



Pesaje de las materias primas trituradas



Licuada y filtrado del extracto



Decantación del filtrado y secado del almidón



Triturado – filtrado y pesaje del almidón extraído



ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LOS ALMIDONES

Prueba de Lugol



Determinación de humedad



Determinación de cenizas



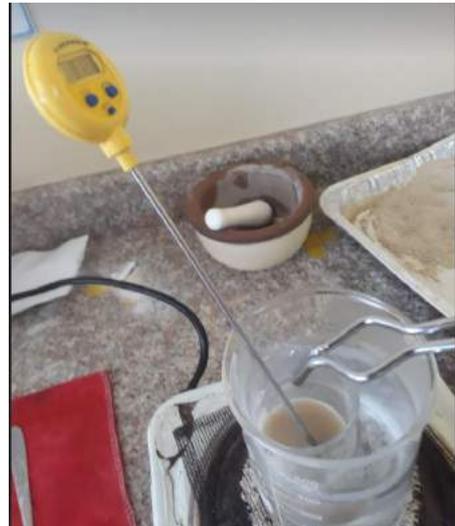
Determinación de pH



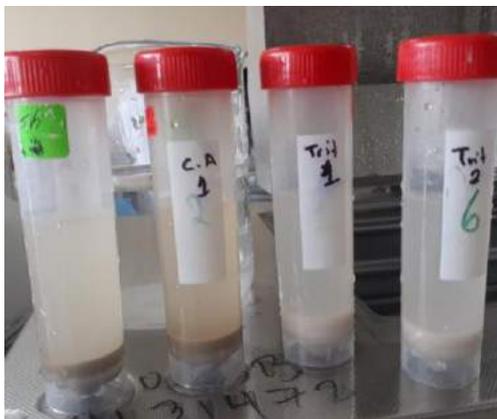
Ensayo de viscosidad



Temperatura de gelatinización



Determinación del índice de solubilidad



Densidad aparente



ANEXO C: ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Pesaje de almidón



Colocar la mezcla en un reverbero



Adición de aditivos



Colocar mezcla en la placa de vidrio



Obtención del bioplástico



Pesaje del bioplástico



ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES

Determinación de humedad



Solubilidad en agua



Permeabilidad al vapor de agua



Medición del espesor



ANEXO E: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN

MC-LSAIA-2201-06

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

INFORME DE ENSAYO No: 21-0112

**NOMBRE PETICIONARIO:	Jacqueline Guamán	**INSTITUCIÓN:	Particular
**DIRECCIÓN:	Barrio San Francisco de Macaj	**ATENCIÓN:	Jacqueline Guamán
FECHA DE EMISIÓN:	18/06/2021	FECHA DE RECEPCIÓN:	06/05/2021
FECHA DE ANÁLISIS:	08 al 22 de junio del 2021	HORA DE RECEPCIÓN:	8h00
		ANÁLISIS SOLICITADO:	Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^Ω	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet	
UNIDAD	%	%	
21-0730	3,89	25,17	Cascarrilla de arroz
21-0731	5,26	34,28	Triticale

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME


IVAN RODRIGO SAMANIEGO MALIOLA
Dr. Ivan Samaniego
RESPONSABLE TECNICO


BLADIMIR ESPIN ORTIZ RAMOS
Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este como 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. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con ** son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

ANEXO F: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 01	
SOLICITADO POR:	Jacqueline Marisol Guamán Sagñay
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLASTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRITICALE Y CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. BIOQUÍMICA Y FARMACIA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	21-jul-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006-CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F1
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPESOR [mm]	0.1
ANCHURA [mm]	7.11
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0.71
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.396.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.83
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.17
CARGA MAXIMA [N]	0.91
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.28
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	10.80
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:

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

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Jacqueline Marisol Guzmán Sagnay
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLASTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRITICALE Y CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. BIOQUÍMICA Y FARMACIA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LAMINA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635-012
FECHA DE ENSAYO:	21-jul-21
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F2
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPEJOR [mm]	0.13
ANCHURA [mm]	7.41
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0.96
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9.310.E-01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.85
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.88
CARGA MAXIMA [N]	0.98
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.02
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	12.24
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



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

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Jacqueline Marisol Guaman Saglay
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLASTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRITICALE Y CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. BIOQUÍMICA Y FARMACIA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635.012
FECHA DE ENSAYO:	21-jul-21
EQUIPO UTILIZADO: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F3
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPEJOR [mm]	0.09
ANCHURA [mm]	7.30
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	0.66
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.590.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.66
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.01
CARGA MAXIMA [N]	0.74
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.12
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	10.08
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



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

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 04	
SOLICITADO POR:	Jacqueline Marisol Guamán Sagñay
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRITICALE Y CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. BIOQUÍMICA Y FARMACIA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LAMINA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635.012
FECHA DE ENSAYO:	21-jul-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 Cód IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F4
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPESOR [mm]	0.13
ANCHURA [mm]	7.30
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0.95
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9.570.E-01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0.78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.82
CARGA MAXIMA [N]	0.89
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.94
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	10.40
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



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

ANEXO G: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL DEL ALMIDÓN



INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Fecha: 18 de Agosto del 2021
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Guamán
Tipo de muestras: Almidón de Triticale
Localidad: Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Proteína Bruta	%	Kjeldhal	0,87
Grasa	%	Gravimétrico-extracción	0,17
Fibra	%	Digestión ácida básica	0,19

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICOS

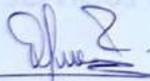
Fecha: 18 de Agosto del 2021
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Guamán
Tipo de muestras: Almidón de Cascarilla de arroz
Localidad: Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Proteína Bruta	%	Kjeldhal	1,08
Grasa	%	Gravimétrico-extracción	0,34
Fibra	%	Digestión acida básica	5,90

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

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

ANEXO H: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ALMIDONES



INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha: 18 de Agosto del 2021
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Guamán
Tipo de muestras: Almidón de Triticale
Localidad: Riobamba

Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Siembre en masa	330
Coliformes Totales	UFC/g	Siembre en masa	Ausente
Coliformes Fecales	UFC/g	Siembre en masa	Ausente
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembre en masa	<10

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

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

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contáctanos: 0998580374 - 032942322 ó 0984648617
Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

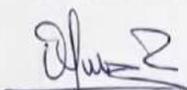
Fecha: 18 de Agosto del 2021
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Guamán
Tipo de muestras: Almidón de Cascarilla de arroz
Localidad: Riobamba

Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Siembre en masa	200
Coliformes Totales	UFC/g	Siembre en masa	Ausente
Coliformes Fecales	UFC/g	Siembre en masa	Ausente
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembre en masa	<10

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICOS

ANEXO I: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOPLÁSTICO



INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha: 26 de Agosto del 2021

Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Guamán

Tipo de muestras: Bioplástico del almidón de Triticale y Cascarilla de arroz

Localidad: Riobamba

Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Siembre en masa	10
Coliformes Totales	UFC/g	Siembre en masa	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/g	Siembre en masa	ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	Siembre en masa	<10

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

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



epoch

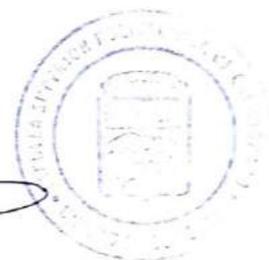
Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jacqueline Marisol Guaman Sagñay</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Bioquímica y Farmacia</i>
Título a optar: <i>Bioquímica Farmacéutica</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



0978-DBRA-UTP-2022