



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

VALORIZACIÓN DE LA CASCARA DE LA CÚRCUMA
(Cúrcuma longa) EN LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

YAJAIRA KATERINE MARTÍNEZ BRAVO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

VALORIZACIÓN DE LA CASCARA DE LA CÚRCUMA
(Cúrcuma longa) EN LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: YAJAIRA KATERINE MARTÍNEZ BRAVO

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

©2023, Yajaira Katherine Martínez Bravo

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, Yajaira Katherine Martínez Bravo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que 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, 19 de abril de 2023



Yajaira Katherine Martínez Bravo

C.I. 060397500-4

DEDICATORIA

Las personas que permanecen en tu vida en los buenos y los malos momentos merecen ser considerados dentro de este especial acontecimiento “Trabajo de Titulación”, mismo que es pleitesía y homenaje a Papito Dios, por no soltarme de su mano y brindarme la sabiduría necesaria en las tribulaciones que se presentaron a lo largo de este camino. A mis seres de luz, mis Padres Rodrigo y Carmita, que siempre serán mi inspiración para salir adelante, por su amor, apoyo incondicional y la confianza depositada. Mis hermanos: Angélica por su apoyo fundamental que siempre me brinda, fuiste y serás sustento moral y ejemplo a seguir en el transitar de mi vida, Paúl porque siempre estuviste y estás en mi corazón y mente, serás mi motivo para seguir escalando y conseguir las metas y objetivos luchando con ahínco y perseverancia; como no mencionar la protección y bendición de mis ángeles en el cielo, mis Abuelitos Manuelito y Laurita, quienes al paso por esta vida terrenal me entregaron todo su amor, cariño y mimos, los llevo dentro de mi corazón. A mi compañero de vida, Patricio Orozco Ramos, quien me brinda confianza y apoyo moral en las adversidades y momentos difíciles tanto en mi vida personal y carrera universitaria, convirtiéndose en mi complemento sentimental y académico, demostrándome que juntos podemos lograr todo lo que nos proponemos. A mis Primos Manu, Gaby y Jairo, que siempre me han demostrado cariño, afecto, respaldo y que, con sus sabios consejos, han hecho que comprenda que la vida se trata de vencerse y superarse a uno mismo.

Katerine

AGRADECIMIENTO

Segundo Manuel Martínez, expresaba que una de las más grandes virtudes del ser humano es la gratitud, en tal virtud, quiero enaltecer diciendo:

Amado Papito Dios, gracias infinitas por la sabiduría que me brindas para llegar a feliz término esta etapa, por cuidarme como la niña de tus ojos, con tu bendición y protección alcanzaré mi formación académica, que sin lugar a duda pondré a los servicios de mis semejantes, Amados Padres, Hermanos, Sobrinos y Novio, gracias por vuestro cariño y apoyo incondicional, son parte fundamental en mi vida, los llevaré siempre en mi corazón.

Esta vida se compone de grandes personas y grandes amigos, los cuales han estado presentes a lo largo de mi camino. A la sabia enseñanza de mis Catedráticos, especialmente a mi tutor, Ing. Hannibal Brito Moína, guía fundamental en este proceso de conocimiento y aprendizaje.

A los Técnicos de laboratorio, Ingenieros: Geovanna Lobato y Mauricio Álvarez , por compartir sus experiencias con paciencia y profesionalismo.

Katerine

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **VALORIZACIÓN DE LA CASCARA DE LA CÚRCUMA (Cúrcuma longa) EN LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS.**, realizado por la señorita **YAJAIRA KATERINE MARTÍNEZ BRAVO**, 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
Ing. María Alexandra Procel Silva, MSc. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL		2023-04-19
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina, PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-19
Ing. Edison Geovanny Orozco Valencia, Mgs. ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-19

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	2
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	2
1.3. Problema general de la investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de la investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	4
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	5
1.7. Hipótesis.....	5
1.7.1. <i>General</i>	5
1.7.2. <i>Específica</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Referencias teóricas.....	7
2.2.1. <i>Productos agrícolas</i>	7

2.2.2.	<i>Tubérculos</i>	7
2.2.3	<i>Cúrcuma</i>	7
2.2.4.	<i>Descripción botánica</i>	9
2.2.5.	<i>Propiedades estructurales del almidón</i>	10
2.2.5.1.	<i>Amilosa</i>	10
2.2.5.2.	<i>Amilopectina</i>	10
2.2.6.	<i>Extracción del almidón</i>	10
2.2.6.1.	<i>Extracción de almidón en tubérculos y raíces</i>	11
2.2.7.	<i>Plásticos biodegradables</i>	11
2.2.8.	<i>Clasificación del plástico biodegradable</i>	12
2.2.9.	<i>Producción de polímeros de almidón</i>	12
2.2.10.	<i>Propiedades de los polímeros de almidón</i>	13
2.2.11.	<i>Componentes para la elaboración de plásticos biodegradables</i>	13
2.2.11.1.	<i>Plastificante</i>	13
2.2.11.2.	<i>Agua destilada</i>	13
2.2.11.3.	<i>Glicerina</i>	14
2.2.11.4.	<i>Desmoldante</i>	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1.	Enfoque de investigación	15
3.2.	Nivel de Investigación	15
3.2.1.	<i>Exploratorio</i>	15
3.2.2.	<i>Descriptiva</i>	15
3.3.	Tipo y diseño de investigación	15
3.3.1.	<i>Tipo de investigación</i>	15
3.3.1.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	15
3.3.1.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	15
3.3.1.3.	<i>Por el objeto</i>	16
3.3.1.4.	<i>Por el tipo de inferencia</i>	16
3.3.1.5.	<i>Por el periodo temporal</i>	16
3.3.2.	<i>Diseño de investigación</i>	16
3.2.2.1.	<i>Diseño factorial</i>	16
3.4.	Tipo de estudio	16
3.4.1.	<i>Documental</i>	16

3.4.2.	<i>Experimental</i>	17
3.5.	Identificación de variables	17
3.6.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	17
3.7.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	17
3.7.1.	<i>Método de muestreo</i>	17
3.7.2.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	18
3.8.	Parte experimental	18
3.8.1.	<i>Obtención del almidón</i>	18
3.8.1.1.	<i>Técnica de extracción del almidón</i>	18
3.8.1.2.	<i>Caracterización del almidón</i>	20
3.8.2.	<i>Obtención del bioplástico</i>	27
3.8.2.1.	<i>Técnica de obtención de bioplástico</i>	27
3.8.2.2.	<i>Técnicas de caracterización obtención de bioplástico</i>	29

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Análisis correspondientes a la materia prima	33
4.1.1.	<i>Características de la materia prima</i>	33
4.1.1.1.	<i>Análisis sensorial de la cúrcuma</i>	33
4.1.2.	<i>Análisis fisicoquímicos de la materia prima</i>	34
4.1.2.1.	<i>Humedad</i>	34
4.1.2.2.	<i>Ceniza</i>	35
4.1.2.3.	<i>Solubilidad</i>	35
4.1.2.4.	<i>pH</i>	36
4.1.2.5.	<i>Densidad aparente</i>	36
4.1.3.	<i>Análisis de fibra y proteína de la materia prima</i>	37
4.1.4.	<i>Análisis microbiológicos de la materia prima</i>	37
4.2.	Resultados obtenidos del proceso de extracción del almidón	37
4.2.1.	<i>Rendimiento del almidón a partir de la cúrcuma</i>	37
4.2.2.	<i>Análisis fisicoquímicos del almidón de cúrcuma</i>	40
4.2.2.1.	<i>Humedad</i>	40
4.2.2.2.	<i>Ceniza</i>	41
4.2.2.3.	<i>pH</i>	41
4.2.2.4.	<i>Sensibilidad</i>	42
4.2.2.5.	<i>Viscosidad</i>	42

4.2.2.6.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	42
4.2.2.7.	<i>Solubilidad</i>	43
4.2.2.8.	<i>Densidad aparente</i>	44
4.2.2.9.	<i>Amilosa y amilopectina</i>	44
4.2.3.	<i>Análisis microbiológicos del almidón de cúrcuma</i>	45
4.3.	Obtención de bioplástico	45
4.3.1.	<i>Caracterización del espesor del biofilm</i>	46
4.3.2.	<i>Humedad del bioplástico</i>	47
4.3.3.	<i>Solubilidad del bioplástico</i>	48
4.3.4.	<i>Permeabilidad del bioplástico</i>	50
4.3.5.	<i>Análisis Anova de las pruebas físico-químicas</i>	52
4.3.6.	<i>Pruebas mecánicas del bioplástico</i>	53
4.4.	Biodegradabilidad	56
4.4.1.	<i>Aire</i>	56
4.4.2.	<i>Suelo</i>	57
4.4.3.	<i>Agua</i>	58
4.4.4.	<i>Tiempo de estimado de biodegradación</i>	59
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		62
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación y taxonomía.....	8
Tabla 2-2:	Porcentaje de almidón de la <i>Cúrcuma longa</i>	9
Tabla 1-3:	Identificación de variables	17
Tabla 2-3:	Técnica de recolección de datos.....	18
Tabla 3-3:	Técnica de extracción de almidón de <i>cúrcuma</i>	18
Tabla 4-3:	Técnicas de caracterización del almidón de <i>cúrcuma</i>	20
Tabla 5-3:	Técnica de extracción de almidón de <i>cúrcuma</i>	27
Tabla 6-3:	Técnicas de caracterización del bioplástico de <i>cúrcuma</i>	29
Tabla 1-4:	Análisis sensorial de la <i>cúrcuma</i>	33
Tabla 2-4:	Análisis físico de la <i>cúrcuma</i>	33
Tabla 3-4:	Resultados de humedad.....	34
Tabla 4-4:	Resultado de cenizas de la <i>cúrcuma</i>	35
Tabla 5-4:	Datos de solubilidad en agua de la <i>cúrcuma</i>	35
Tabla 6-4:	Resultados de solubilidad en agua de la <i>cúrcuma</i>	35
Tabla 7-4:	Resultados de pH de la <i>cúrcuma</i>	36
Tabla 8-4:	Datos de densidad aparente de la <i>cúrcuma</i>	36
Tabla 9-4:	Resultados de densidad aparente de la <i>cúrcuma</i>	36
Tabla 10-4:	Resultados de fibra y proteína de la <i>cúrcuma</i>	37
Tabla 11-4:	Resultados microbiológicos de la <i>cúrcuma</i>	37
Tabla 12-4:	Variables para la extracción de almidón	38
Tabla 13-4:	Resultados del rendimiento de la extracción de almidón de <i>cúrcuma</i>	39
Tabla 14-4:	Resultado de promedio del almidón.....	40
Tabla 15-4:	Resultado de cenizas del almidón a partir de la <i>cúrcuma</i>	41
Tabla 16-4:	Resultado del pH del almidón a partir de la <i>cúrcuma</i>	41
Tabla 17-4:	Resultado del análisis de sensibilidad.....	42
Tabla 18-4:	Resultado del análisis de viscosidad	42
Tabla 19-4:	Resultado del análisis de gelatinización.....	42
Tabla 20-4:	Datos para la solubilidad del almidón a partir de la <i>cúrcuma</i>	43
Tabla 21-4:	Resultado de solubilidad del almidón a partir de la <i>cúrcuma</i>	43
Tabla 22-4:	Datos de densidad aparente del almidón.....	44
Tabla 23-4:	Resultados de densidad aparente del almidón.....	44
Tabla 24-4:	Resultados de amilosa y amilopectina del almidón de <i>cúrcuma</i>	44
Tabla 25-4:	Resultados microbiológicos del almidón de <i>cúrcuma</i>	45

Tabla 26-4:	Tratamiento del bioplástico.....	45
Tabla 27-4:	Espesor, ancho y longitud de cada tratamiento.....	46
Tabla 28-4:	Humedad del bioplástico.....	47
Tabla 29-4:	Datos para la solubilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma.....	48
Tabla 30-4:	Resultado de solubilidad del bioplástico partir de la cúrcuma.....	49
Tabla 31-4:	Datos para la permeabilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma.....	50
Tabla 32-4:	Resultado de permeabilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma.....	50
Tabla 33-4:	Resultado del ANOVA.....	52
Tabla 34-4:	Resultado prueba Tukey solubilidad.....	52
Tabla 35-4:	Resultado prueba Tukey humedad.....	53
Tabla 36-4:	Resultado de pruebas mecánicas del bioplástico a partir de la cúrcuma.....	53
Tabla 37-4:	Promedio de pruebas mecánicas del bioplástico a partir de la cúrcuma.....	54
Tabla 38-4:	ANOVA de las pruebas mecánicas del bioplástico partir de la cúrcuma.....	55
Tabla 39-4:	Prueba de Tukey de la carga máxima.....	56
Tabla 40-4:	Biodegradabilidad del bioplástico a partir de cúrcuma en el aire.....	56
Tabla 41-4:	Biodegradabilidad del bioplástico a partir de cúrcuma en el suelo.....	57
Tabla 42-4:	Biodegradabilidad del plástico a partir de cúrcuma en el agua.....	58
Tabla 43-4:	Tiempo estimado de biodegradabilidad total del bioplástico.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Planta de cúrcuma	8
Ilustración 1-3:	Diagrama para la obtención de almidón cúrcuma	19
Ilustración 2-3:	Diagrama para la obtención de bioplástico	28
Ilustración 1-4:	Rendimiento del almidón de cada tratamiento	40
Ilustración 2-4:	Media del porcentaje humedad del bioplástico obtenido en cada tratamiento	47
Ilustración 3-4:	Media del porcentaje solubilidad del bioplástico obtenido en cada tratamiento	49
Ilustración 4-4:	Media de la permeabilidad del bioplástico obtenido en cada tratamiento.....	51
Ilustración 5-4:	Comparación de las pruebas mecánicas obtenidas en cada tratamiento.....	54
Ilustración 6-4:	Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el aire.....	57
Ilustración 7-4:	Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el suelo	58
Ilustración 8-4:	Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el agua	59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CÚRCUMA

ANEXO B: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS DEL ALMIDÓN

ANEXO C: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO

ANEXO D: PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO

ANEXO E: ANÁLISIS DE AMILOSA

ANEXO F: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la cúrcuma (*Curcuma longa L.*) para la producción de bioplástico. Mediante el diseño factorial 2k se realizaron cuatro tratamientos para la obtención del almidón por vía húmeda, y se analizaron las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del mejor almidón. Se propusieron cuatro tratamientos T1, T2, T3 T4 para la producción del bioplástico, con diferentes cantidades de agua, almidón, glicerol, manteniendo constantes el ácido acético; las láminas plásticas obtenidas se sometieron a pruebas físicas, químicas y mecánicas, además las láminas se expusieron a tres ambientes durante 35 días para determinar su biodegradabilidad. Se obtuvo como resultado que el tratamiento T4 fue el que presentó mejor rendimiento en la extracción de almidón de cúrcuma alcanzando un 9.695%, del análisis físico-químico se obtuvo que la mayoría de las propiedades no se ajustaban a la calidad estándar de almidón. Al caracterizar el bioplástico se encontró que los resultados para las propiedades de espesor, largo, ancho y permeabilidad no difirieron significativamente entre los tratamientos, mientras que para la solubilidad el tratamiento T3 logró el mayor porcentaje con 46.46% y los tratamientos T2 y T4 lograron el porcentaje de humedad más bajo (16,33% y 16,71%, respectivamente), que representan los valores óptimos para cada propiedad. Durante las pruebas mecánicas, se observó que los tratamientos T1 y T2 tienen una mayor capacidad de carga cuando se les somete a prueba. Con respecto a la capacidad de descomposición, se observó que el procedimiento más eficaz fue el T3 para el medio acuático y tierra, mientras que para el aire fue el T1. En conclusión, se puede confirmar que los plásticos obtenidos en los 4 tratamientos son óptimos. Sin embargo, para mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del biofilm, se recomienda modificar las proporciones de ácido acético, glicerol y agua.

Palabras clave: <CÚRCUMA (*Curcuma longa L.*)>, <BIOPLÁSTICO>, <ALMIDÓN>, <BIODEGRADABILIDAD>, <PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS>.



0749-DBRA-UTP-2023

ABSTRACT

This research aimed to evaluate turmeric (*Curcuma longa* L.) for bioplastic production. Using the 2k factorial design, four treatments were carried out to obtain starch by wet method, and the best starch's physical, chemical and microbiological properties were analyzed. Four treatments, T1, T2, T3 T4, were proposed for the production of bioplastic, with different amounts of water, starch, and glycerol, keeping acetic acid constant; the plastic sheets obtained were subjected to physical, chemical and mechanical tests, in addition, the sheets were exposed to three environments for 35 days to determine their biodegradability. It was obtained as a result that the T4 treatment was the one that presented the best performance in the extraction of turmeric starch, reaching 9.695%; from the physical-chemical analysis, it was obtained that most of the properties did not conform to the standard quality of starch. When characterizing the bioplastic, it was found that the results for the properties of thickness, length, width and permeability did not differ significantly between the treatments.

In contrast, for solubility, the T3 treatment achieved the highest percentage with 46.46%, and the T2 and T4 treatments achieved the highest percentage. The lowest moisture percentage (16.33% and 16.71%, respectively) represent the optimal values for each property. During the mechanical tests, it was observed that the T1 and T2 treatments have a higher load capacity when tested. Regarding the decomposition capacity, it was observed that the most effective procedure was T3 for the aquatic environment and land, while for the air, it was T1. In conclusion, the plastics obtained in the four treatments are optimal. However, to improve the biofilm's physical, chemical and mechanical properties, it is recommended to modify the proportions of acetic acid, glycerol and water.

Keywords: <TURMERIC (*Curcuma longa* L.)>, <BIOPLASTIC>, <STARCH>, <BIODEGRADABILITY>, <PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES>.



Ing. Angel Paul Obregón Mayorga, Mgs.
C.I. 060192712-2

INTRODUCCIÓN

El plástico es uno de los materiales más utilizados en las actividades diarias de las personas alrededor del mundo, ya que su uso ha ido aumentando cada vez más con el paso del tiempo, provocando varios efectos negativos, ya que no se descompone fácilmente y permanece en el medio ambiente por mucho tiempo.

En Ecuador se producen más de 260.000 toneladas de plástico de un solo uso, datos del INEC del 2018 muestran que la basura tirada cada día representa el 12.739,01 de esta cantidad, el 11,43% fue plástico, haciendo un total de 531.461 toneladas anuales (INEC, 2018, p.1).

En la actualidad, relacionado con los problemas que ocasiona el mal uso de los plásticos tradicionales, se han desarrollado alternativas para la obtención de plásticos biodegradables, que sean amigables con el medio ambiente, ayuden a disminuir la contaminación que ocasionan los plásticos derivados del petróleo, los plásticos biodegradables se caracterizan porque representan un proceso de desmantelamiento. en menos tiempo que los de uso común.

Los plásticos biodegradables provienen de materias primas con propiedades renovables, estos son capaces de competir con los polímeros sintéticos tradicionales, generalmente se basan en almidón, que se puede obtener de varios tubérculos, granos, legumbres, raíces.

Hay una variedad de cultivos relacionados con tubérculos en Ecuador que se pueden usar para hacer plásticos biodegradables siguiendo los métodos correctos de extracción de almidón. La cúrcuma, utilizada en esta investigación, es una raíz comúnmente utilizada como medicina natural y como especia en los alimentos. Se cultiva en algunas zonas del país, convirtiéndolo en una materia prima accesible para la producción de almidón, contribuyendo así al incremento de su cultivo. Una vez extraído el almidón del tubérculo, se pueden fabricar películas bioplásticas utilizando la metodología adecuada para su fabricación.

Con base en lo anterior, este trabajo de integración curricular propone desarrollar un plástico biodegradable a partir de la extracción de almidón de cúrcuma, que pueda ser utilizado en empaques de alimentos y así ofrecer una alternativa plástica amigable con el medio ambiente por su corto tiempo de degradación.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Todos los productos industriales, domésticos, alimentarios, médicos y otros fabricados con plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles tienen un grave impacto negativo en el medio ambiente (Piza et al., 2017, p.1). Actualmente, solo el 1% de los 320 millones de toneladas de plástico que se producen anualmente a nivel industrial son plásticos biodegradables. Se prevé que la capacidad de producción de plásticos degradables a escala mundial aumente de 2,05 millones de toneladas en 2017 a aproximadamente 2,44 millones de toneladas en 2022. Dado que Ecuador tiene un sector agrícola próspero, la investigación sobre el uso de desechos agrícolas como materia prima para la producción de plásticos biodegradables beneficiará la economía de Ecuador y también ayudará a avanzar en la creación de nuevos materiales amigables con el medio ambiente (Riera y Palma, 2018, p.1).

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

Hay una falta de información y datos recientes sobre la producción de cúrcuma en Ecuador. La producción de cúrcuma del Ecuador se encuentra distribuida en diferentes regiones del país, incluyendo regiones tropicales, húmedas y subtropicales como: La Concordia, Tena, Puyo, Zamora, Caluma, limitando así las zonas montañosas donde no reúnen las condiciones requeridas para su producción.

1.2.2. Delimitaciones

La síntesis de polímeros biodegradables se realizará a partir de almidón obtenido a partir de la cúrcuma, al que se le realizará un ensayo de degradabilidad. Además de evaluar las propiedades mecánicas de tensión y rigidez, también se determinó si podría aplicarse a envases de alimentos.

1.3. Problema general de la investigación

Recientemente, el uso de plásticos ha cobrado cada vez más importancia debido a su variabilidad de uso, ya que se sabe que estos polímeros sintéticos son derivados del petróleo y se producen de acuerdo a los diferentes usos debido a las diferentes propiedades que se desarrollan para hacerlos más resistentes y no son fácilmente degradables, pueden llegar a tardar hasta 500 años en descomponerse y por tanto son muy contaminantes porque inciden en la destrucción de la capa de ozono (Valero y Ortegón, 2013, p.172).

La contaminación que se produce por el uso de plásticos se ha visto afectada significativamente en diversos lugares de la tierra, llegando hasta las profundidades de los mares y los bosques más recónditos. Las botellas de PET (tereftalato de polietileno) son un tipo de plástico que causa los mayores problemas debido a la falta de un control adecuado a su disposición (Serrato, 2016; citado en Alcivar, 2020,p.4).

1.4. Problemas específicos de la investigación

El uso de plásticos derivados del petróleo genera altos niveles de contaminación ambiental ya que se degradan en un período de unos 200 años y provocan acumulación.

Los plásticos tienen un impacto negativo en el medio ambiente y contaminan el suelo y el agua.

Los plásticos derivados del petróleo liberan sustancias químicas nocivas cuando entran en contacto con el suelo, que luego llegan a las aguas subterráneas.

Además, como los plásticos no se degradan, son dañinos para los animales y ponen en peligro su especie; Por lo tanto, existe la necesidad de implementar un reemplazo para el plástico que tenga propiedades similares, sea fácil de fabricar y se degrade rápidamente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Valorizar la cáscara de cúrcuma (*Curcuma longa L.*) para la elaboración de plástico biodegradable.

1.5.2. Objetivos específicos

- Extraer el almidón a partir de la cáscara de cúrcuma (*Curcuma longa L.*).
- Analizar la caracterización del almidón extraído a partir de la cáscara de cúrcuma.
- Establecer la concentración adecuada de la mezcla para la elaboración del bioplástico.

- Realizar la caracterización de los parámetros físicos, químicos y mecánicos del bioplástico.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

El reciclaje de desechos orgánicos es responsable de reducir, reutilizar y reutilizar estos productos desechados a medida que pasan de los desechos de plantas a las materias primas. La ventaja de utilizar materialmente estos recursos es que son biodegradables, por lo que, si se disuelven, vuelven a formar parte del medio ambiente. Los plásticos degradables están hechos de materias primas renovables de origen natural, como el almidón, que es el principal carbohidrato de almacenamiento de energía en las plantas y, por lo tanto, abundante en la naturaleza. Por ello, se pretende producir plástico a partir de residuos de cúrcuma, evaluar su rendimiento y obtener un protocolo específico para su producción (Herrera, 2011, p.2.). La cúrcuma (*Curcuma longa L.*) pertenece a la familia del jengibre, almacena alrededor del 40% del almidón, es valorada por sus propiedades colorantes, tiene gran demanda a nivel mundial y es un producto utilizado como condimento. Dando directamente a los alimentos su color, se utiliza como insumo principal en la fabricación del colorante amarillo. La importancia de esta investigación es reducir la contaminación de los plásticos tradicionales mediante el uso de la cúrcuma, un rizoma muy poco difundido en el mercado, para obtener degradables plásticos. Debido a que ha sido marginado, el hábito de consumirlo está desapareciendo. Por eso se utilizarán tecnologías innovadoras para producir plásticos degradables con esta importante raíz.

1.6.2. Justificación metodológica

Para elaborar el bioplástico, se emplea el método de los 2k factoriales, que consiste en exhibir la manera más eficaz de llevar a cabo los experimentos, a sabiendas del efecto que tienen los k factores en la reacción y si se encuentran o no en contacto entre sí (Medina et al., 2020: p.20).

Donde:

2 = (concentración de almidón y plastificante)

k = Número de repeticiones; obteniendo $2k = (2 \cdot 2)^4 = 16$ pruebas con 4 tratamientos.

1.6.3. Justificación práctica

Este trabajo de investigación surge de la necesidad de reducir el impacto ambiental del uso tradicional y excesivo e inadecuado del plástico en el día a día del ser humano, y de la necesidad de encontrar nuevas alternativas a este producto para mantener la sostenibilidad del planeta.

1.7. Hipótesis

1.7.1. General

Partiendo del almidón de cáscara de cúrcuma (*Curcuma longa L.*), se podrá elaborar bioplástico que cumpla con las características necesarias para el uso en la envoltura de alimentos.

1.7.2. Específica

- Existen dos métodos para extraer el almidón de la cáscara de cúrcuma (*Curcuma longa L.*), el método húmedo y el método seco, el método utilizado es el método húmedo que es el más adecuado para obtener más almidón.
- Al obtener el almidón, se realizan las pruebas necesarias a través de pruebas de laboratorio para cumplir con las propiedades óptimas para ser utilizado como materia prima en la producción de bioplástico.
- Al ser un plástico biodegradable, se puede decir que su tiempo de degradación es más corto que el de los plásticos convencionales.
- La excelente calidad del plástico biodegradable producido se demostrará mediante la realización de pruebas físicas y mecánicas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Investigaciones internacionales que influyen en la presente investigación: Castillo et al. (2015,p.2), Panamá, en su estudio “Plásticos biodegradables a base de cáscara de plátano”, cuyo objetivo principal fue obtener una lámina a base de almidón extraído de la cáscara de plátano El proyecto convierte las cáscaras de plátano descartadas como desechos agrícolas en plásticos biodegradables. Después de quitar el endocarpio, los participantes descartan el exocarpio. Luego, sumergen las raspaduras en una solución concentrada de jugo de cítricos para evitar la oxidación. Teniendo en cuenta que la mayoría de las investigaciones recientes sobre estos biomateriales se ha concentrado en encontrar nuevas formas de aumentar la productividad y reducir los costos de producción, los plásticos biodegradables se han aclarado posteriormente. Finalmente lograron crear un plástico degradable con buenas cualidades y funcionalidad (Castillo et al, 2015, p.12).

García (2015), El Salvador, en su estudio “Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de maíz”, planteó un método para obtener plásticos degradables a partir del almidón de maíz, un recurso natural renovable. Se realizaron pruebas mecánicas y fisicoquímicas a la sustancia para conocer su resistencia y grado de biodegradabilidad; los resultados mostraron que es un plástico biodegradable con potencial uso industrial. Los autores recomiendan continuar el proceso hasta obtener un prototipo de palet, además de una investigación de tipo económico para conocer la viabilidad de dichos materiales (García, 2015, p.2).

Por otro lado, a nivel nacional, en Ecuador, Riera et al. (2018) en su estudio "Procurando plásticos biodegradables a partir de residuos agrícolas. Una revisión del potencial de Ecuador" trató de sugerir la aplicación de análisis multicriterio en métodos existentes El método, luego de revisar los existentes en el espacio geográfico en el que se encuentra registrado, para seleccionar los residuos agrícolas más aptos para la producción de plásticos degradables en el Ecuador se va a enfocar. Actuará como punto de referencia al examinar el potencial de utilizar una metodología científicamente rigurosa que apoye la elección de un material desarrollado experimentalmente para la producción de plásticos biodegradables a escala industrial, desde un punto de vista técnico y económico (Riera et al., 2018, p.3).

Guamán (2019) en su trabajo de investigación “Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscara de papa para aplicaciones industriales” incluye la elaboración de láminas plásticas biodegradables a partir de almidón de cáscara de papa. La materia prima de este trabajo fue el almidón extraído por decantación natural de la piel de patata de la variedad super chola. Se

determinaron los porcentajes de almidón y amilosa. Mientras obtenían plásticos biodegradables, idearon cinco formulaciones basadas en un diseño factorial 2² utilizando el software Statgraphics Centurion XVII. Se realizó un análisis sensorial de los plásticos degradables resultantes para evaluar la formulación óptima. Los autores confirmaron que el plástico biodegradable producido en laboratorio tenía propiedades físicas y mecánicas similares a las de los plásticos convencionales (Guamán, 2019, p.5)

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Productos agrícolas

El Ecuador es un país rico en recursos vegetales de los cuales se siembran productos agrícolas, estos se originan por el uso de la tierra, existen desde hace mucho tiempo por ser fuente de alimentos e ingresos económicos, esta actividad pertenece a la industria primaria.

2.2.2. Tubérculos

Se caracterizan por ser subterráneos, son tallos modificados y engrosados que tienen una función de almacenamiento, tienen una función importante ya que se utilizan como fuente de alimento (Portón, 2015, p.2).

2.2.3 Cúrcuma

La cúrcuma (*Curcuma longa L.*) es una planta de la familia Zingiberaceae que pertenece al orden Zingiberales. Se encuentra dentro del género de los comelínidos, estas especies son caracterizadas por tener paredes celulares que emiten luz ultravioleta cuando son iluminadas con luz negra, debido a que en las hojas se encuentran ácidos como el ferúlico, el cumárico y el salicílico. Es conocida mundialmente como una especia aromática. El compuesto vegetal curcumina, presente en su característico rizoma naranja, confiere a esta planta importantes propiedades medicinales. Su robusto rizoma cambia de color: amarillo cuando está fresco, anaranjado cuando está seco. Este color naranja o marrón rojizo con puntos amarillentos es causado por la deshidratación y los aceites esenciales ricos en carotenoides (Abad y Vasena, 2020, p.4).



Ilustración 1-2: Planta de cúrcuma

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

Tabla 1-2: Clasificación y taxonomía

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Zingiberidae
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Género	Cúrcuma
Especie	<i>Curcuma longa</i>

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

El sudeste asiático es el hogar nativo de la cúrcuma de la región, específicamente el sur de Vietnam y la India. A pesar de algunos de estos climas húmedos y suelos ricos en cal, la cúrcuma no se encuentra realmente en la naturaleza. Se trata de una planta tropical que se desarrolla en regiones cálidas y húmedas con abundante lluvia. Asimismo, se esparce desde Polinesia, Micronesia hasta el sudeste asiático, además de que es capaz de prosperar en zonas de selva alta y selva baja. Para que prospere, especialmente durante el período de siembra de siete a diez meses, necesita temperaturas entre 20 y 30 grados centígrados y mucha lluvia. Crece en campo abierto porque necesita mucha luz para hacerlo. Prospera en suelos francos con buen drenaje y un pH entre 5 y 6, que es ligeramente ácido. Como se mencionó anteriormente, este rizoma se cultiva en diferentes lugares de la Sierra y la Amazonía para obtener mejores resultados durante la cosecha, y se cultiva con mayor frecuencia en el país desde 1998.

2.2.4. Descripción botánica

Una hierba perenne, la cúrcuma puede alcanzar alturas de 50 a 100 cm. A diferencia de las flores, que vienen en una variedad de colores, las hojas de la cúrcuma son de color verde claro. Cuando se trituran, los rizomas de cúrcuma frescos tienen una pulpa de color naranja brillante que es de un color marrón amarillento brillante con una piel ligeramente escamosa. Los rizomas de cúrcuma secos son de color amarillo limón a naranja. Los pigmentos del rizoma, que pueden ser esféricos o elipsoidales, llenos de células, en ocasiones totalmente adheridos a la pared celular, y otras veces en forma de gránulos alargados y puntiagudos adheridos a la pared celular, son los que dan color a la planta. La cúrcuma es una planta muy interesante desde el punto de vista de la belleza, la gastronomía, la medicina y la alimentación debido al pigmento amarillo del rizoma conocido como curcumina, también conocido como ácido curcumínico, que es soluble en etanol y éter, pero insoluble en agua. Los almidones, gomas, oxalato de calcio, proteasas (altas en alanina y ácido glutámico), curcuminoides amarillos y almidón rico en aceites esenciales, que le dan al rizoma su aroma distintivo, también están presentes en el rizoma (Abad y Vasena, 2020, pp.4-5) Estudios recientes han revelado que del 45 al 55 por ciento de los rizomas frescos son almidón gelatinizado (Abad y Vasena, 2020, pp.4-5).

Tabla 2-2: Porcentaje de almidón de la Cúrcuma longa

Tubérculo	% de almidón
Cúrcuma	45-55%

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

Para muchos organismos, especialmente los humanos, el almidón es una fuente vital de energía. Sirve como principal polisacárido de almacenamiento de las plantas superiores. Los granos de cereales, tubérculos, legumbres y frutos verdes o inmaduros son las principales fuentes de almidón potencialmente presentes (Guilbot et al., 1985; citado en Miranda, 2013, p.2). Las legumbres suelen tener entre un 30 y un 50 por ciento de almidón por peso seco, y los porcentajes cambian según la especie (Miranda, 2013, p.7). En base a sus propiedades nutricionales, el almidón se puede clasificar como almidón digerible o almidón resistente (AR). Como resultado de la gelatinización de los gránulos de almidón durante la cocción y la susceptibilidad al ataque de las enzimas, los almidones digeribles son aquellos que se descomponen rápidamente en el intestino delgado. En personas sanas, la cantidad total de almidón no absorbido y los productos de su descomposición en el intestino delgado se conocen como AR (Ciacco et al., 2001; citado en Miranda, 2013, p.5).

2.2.5. Propiedades estructurales del almidón

Hay dos estructuras poliméricas distintas que forman el almidón: la amilosa y la amilopectina, ambas compuestas por unidades de glucosa. Como resultado, mientras que la amilopectina es un polímero de cadena ramificada, la amilosa es un polímero lineal. La relación entre la amilosa y la amilopectina juega un papel importante en la producción de películas e influye fuertemente en sus características mecánicas y físicas.

2.2.5.1. Amilosa

Polímero basado en unidades de D-glucosa. La molécula de amilosa, que se encuentra en la capa interna, se compone de 200 a 20 000 moléculas de glucosa conectadas por enlaces glucosídicos α -1,4. Es esencialmente lineal, tiene cadenas ramificadas cortas y largas y una distancia de desacoplamiento larga, lo que le permite funcionar como un polímero lineal. La amilosa es un compuesto soluble en agua que está presente en altas concentraciones en los almidones. Los almidones deficientes en amilosa se espesan, pero no se gelifican cuando se moldean. Alrededor del 25% del almidón se compone de amilosa granulada (Ruíz, 2014, p.2).

2.2.5.2. Amilopectina

La amilopectina se encuentra en la capa exterior y difiere estructuralmente de la amilosa. Está compuesto por cadenas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos 1,4. La amilopectina tiene ramificaciones cada 15 a 30 unidades, a diferencia de la amilosa, debido a la formación de enlaces glucosídicos -1,6 con moléculas de glucosa adicionales. Debido a su ramificación, la amilopectina es menos soluble en agua que la amilosa. (Ruíz, 2014, p.2). En comparación con las moléculas de amilosa, las moléculas de amilopectina son más grandes y contienen entre 10 000 y 20 millones de unidades de glucosa por grupo. La amilosa tiene un peso molecular que oscila entre 50 000 y 200 000 g/mol. También hay presente de un millón a varios millones de veces más amilopectina. La amilosa tiene una alta susceptibilidad a la retrogradación, mientras que la amilopectina tiene una baja.

2.2.6. Extracción del almidón

Hay varios métodos para extraer almidón de varias fuentes naturales. La extracción de almidón por decantación utilizando agua destilada o álcali como solvente se considera un proceso altamente productivo y económico (Medina et al., 2010). En el Boletín del Servicio Agrícola de

la FAO, el método de extracción del almidón de tapioca incluye principalmente las siguientes etapas: cosecha de raíces, enjuague y corte de raíces, molienda, extracción, sedimentación, secado y adaptación (incluidos los procesos de trituración, tamizado y empaque). Por otro lado, Melian (2010, p.2) afirma que existe otra forma de ganar fuerza a través del método de decantación natural. Este procedimiento consiste en dos etapas de decantación que duran 6 horas cada una. Se agrega una solución de hidróxido de sodio al 0,02% p/v para disolver las proteínas. Finalmente, el nivel de pH se eleva a 7. Finalmente, la muestra filtrada de almidón se seca en estufa a una temperatura de $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Después de un tiempo, el almidón se tritura para su uso posterior en el envasado.

2.2.6.1. Extracción de almidón en tubérculos y raíces

Varios autores han reportado mejoras a los métodos tradicionales de separación de almidón (utilizados en cereales) al procesar tubérculos como yuca, ñame, papa, ñame. El principio se basa en la molienda y el filtrado para obtener una solución acuosa de almidón, que se denomina "slurry de almidón". Uno de los procesos necesarios para recuperar el almidón es la centrifugación, pero muchos autores afirman que no es necesario porque la decantación del almidón da resultados comparables con la decantación directa (Marín, 2016, p.4).

2.2.7. Plásticos biodegradables

Según Romero (1997), los plásticos biodegradables son plásticos que tienen una estructura química susceptible de ser degradada por la acción de microorganismos del suelo como bacterias, hongos y actinomicetos. Otro autor respalda esta afirmación, señalando que los plásticos se degradan a través de procesos biológicos que dan como resultado la producción de dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a un ritmo comparable al de otros materiales compostables conocidos, sin dejar signos observables de su presencia o tóxicos. Desperdiciar (Polinter, 2017; citado en Álvarez et al., 2019, p.6). European Bioplastics considera que una sustancia plástica es un plástico biodegradable si es de base biológica, biodegradable o ambos. Además, se componen de una familia diversa de materiales con una variedad de características y usos (European Bioplastics, 2020, p.4).

2.2.8. Clasificación del plástico biodegradable

Según su origen, los biopolímeros biodegradables se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Plásticos degradables a partir de materias primas renovables: El almidón y la celulosa, dos materiales que se derivan directamente de la biomasa, se pueden utilizar para fabricar plásticos. La fermentación también se puede utilizar para producir plásticos cuyos monómeros se pueden fabricar a partir de materias primas renovables; sin embargo, el proceso de polimerización posterior debe realizarse utilizando métodos químicos tradicionales. El PLA es el principal representante de este grupo final.
- Polímeros biodegradables derivados de la industria petroquímica como poliéster-amida y alcohol polivinílico.
- Plástico degradable sintetizado biotecnológicamente: Existen dos aspectos desde los cuales la biotecnología puede intervenir en la producción de plástico degradable. Otra visión es la síntesis integral de plásticos degradables a través de procesos biotecnológicos, principalmente a través de la fermentación microbiana, aunque otras tecnologías basadas en el uso de plantas modificadas genéticamente son consideradas como verdaderas fábricas de plásticos degradables a más largo plazo (Ochoa et al., 2007, p.7).

2.2.9. Producción de polímeros de almidón

La molienda húmeda se utiliza para extraer almidón, que es el primer paso en la creación de polímeros de almidón. Como ilustración, el germen aceitoso se elimina del maíz moliendo los granos después de remojarlos en una solución de ácido débil. Una molienda más fina separa las fibras del endospermo, que luego se centrifuga para separar las proteínas que son menos densas que el almidón. A continuación, la suspensión de almidón se concentra, se seca y se lava por centrifugación en preparación para la extrusión o granulación. De esta forma, se obtienen polímeros de almidón puro que deben ser procesados mediante compounding y/o extrusión para producir materiales termoplásticos. El método utilizado por Rodenburg Biopolymers (Países Bajos) para fabricar Solanyl® es solo uno de varios métodos de producción de polímeros de almidón parcialmente fermentados que existen. Lodos del sector agroalimentario que se han utilizado como residuos de patata como materia prima en este proceso. Para su estabilización y fermentación parcial, los lodos se mantienen en silos durante dos semanas. El proceso de fermentación más importante es la conversión de una pequeña cantidad de almidón en ácido láctico a través de la glucosa por bacterias ácidas naturales. Para lograr la termoplasticidad, el producto se seca y se extruye. Durante la etapa de extrusión, se agregan al producto aditivos como

carbonato de calcio y dióxido de titanio junto con aceite de palma para mejorar sus propiedades (Ochoa et al., 2007, p.24).

2.2.10. Propiedades de los polímeros de almidón

Las cualidades antiestáticas y la estructura cristalina parcial de los polímeros de almidón los hacen relativamente transparentes. Aunque esto se puede mejorar con, por ejemplo, mezclas de policaprolactona, tiene una mayor densidad que la mayoría de los polímeros termoplásticos tradicionales y es menos resistente a los disolventes y aceites. En comparación con los plásticos fabricados con productos petroquímicos, los biopolímeros de almidón suelen tener propiedades mecánicas inferiores. Se descomponen fácilmente, pero son bastante simples de procesar. Los biopolímeros de almidón tienen menos aplicaciones debido a su sensibilidad a la humedad, contacto con el agua y alta permeabilidad al vapor de agua. La permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono son dos barreras adicionales que tienen cualidades de moderadas a buenas. Aunque cantidades excesivas de un copolímero diferente en sus mezclas pueden afectar negativamente la biodegradabilidad de los biopolímeros de almidón, estos materiales son biodegradables. Con algunas modificaciones menores, el equipo utilizado para las resinas termoplásticas tradicionales se usa para convertir polímeros de almidón en productos terminados. La película soplada, la extrusión, el termoformado, el moldeado por inyección y la formación de espuma son procesos típicos de conversión (Ochoa et al., 2007, p.65).

2.2.11. Componentes para la elaboración de plásticos biodegradables

Se deben agregar varios reactivos a la mezcla para crear las condiciones ideales para la producción de un bioplástico a partir de almidón. Por esto, los bioplásticos necesitan componentes que tengan propiedades como plasticidad, humectación, espesamiento, resistencia, lubricación y desmoldeo (Meneses et al. 2007, p.47).

2.2.11.1. Plastificante

Un plastificante es una sustancia que se agrega a un plástico para facilitar el procesamiento y aumentar la flexibilidad o ductilidad, de acuerdo con la norma ASTM D883.

2.2.11.2. Agua destilada

Es el agua que resulta de un minucioso procedimiento de destilación que se utilizó para eliminar las impurezas. Los cloruros, el calcio, los fluoruros y el magnesio se eliminan del agua durante la

destilación. H₂O es su composición química. Este tipo de agua se emplea como catalizador para que el almidón se degrade estructuralmente durante la fabricación de la mezcla para producir almidón termoplástico, con la finalidad de obtener propiedades mecánicas óptimas además de que tenga una barrera. No obstante, recuerda que el agua es el catalizador más importante, además de ser barato.

2.2.11.3. Glicerina

Es un líquido espeso e incoloro de sabor dulce y olor distintivo que está hecho principalmente de alcohol, que tiene tres grupos hidroxilo (OH) y la fórmula molecular C₃H₈O₃. Esta sustancia se disuelve cuando se calienta a alta temperatura, es soluble en agua y no es tóxica. El glicerol es un plastificante que le da al almidón suavidad y humectación, similar a como lo hace el agua destilada. Esta sustancia es crucial para la retrogradación de artículos termoplastificados, y su función como lubricante les da a las cadenas poliméricas relacionadas con el almidón la movilidad necesaria (Abad y Vasena, 2020, p.3).

2.2.11.4. Desmoldante

Es importante que el biopolímero no se aglomere durante el procesamiento en la máquina de producción para que los objetos moldeados se puedan desmoldar fácilmente. La razón de esto son los siguientes lubricantes que actúan como agentes de liberación, incluidos: sales de sodio de ácido esteárico, aceites, ceras. Una vez que los productos se retiran del molde, los lubricantes pueden filtrarse del bioplástico y evitar que se peguen entre sí, dando a la superficie del plástico propiedades deslizantes y antiadherentes. Por lo general, son productos especializados para cada polímero que se está convirtiendo (Abad y Vasena, 2020, p.6).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

El enfoque fue mixto ya que se determinó la cantidad de almidón obtenido, se caracterizó el almidón y bioplástico de cáscara cúrcuma y se evaluó la biodegradación de los bioplástico, arrojando datos específicos que permitieron alcanzar los objetivos de la investigación.

3.2. Nivel de Investigación

3.2.1. *Exploratorio*

La investigación fue de naturaleza exploratoria ya que su propósito fue estudiar el mejor proceso tanto para extraer almidón de cúrcuma como para producir bioplástico a partir de almidón de cúrcuma a través de variables de control.

3.2.2. *Descriptiva*

Descriptivo ya que se describió el proceso de obtención de almidón y láminas plásticas biodegradables desde su obtención hasta su caracterización fisicoquímica y microbiológica.

3.3. Tipo y diseño de investigación

3.3.1. *Tipo de Investigación*

3.3.1.1. *Según la manipulación o no de la variable independiente*

Debido a que las variables fueron manipuladas para encontrar un bioplástico que cumpliera con las expectativas del estudio, este estudio fue experimental.

3.3.1.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

La presente investigación fue de carácter teórico-práctico, ya que se recopiló documentos bibliográficos y la recolección de datos se realizó a nivel de laboratorio.

3.3.1.3. Por el objeto

La investigación es aplicada porque tuvo un propósito directo e inmediato. Además, se caracteriza por el uso, aplicación y consecuencias fundamentales de los conocimientos adquiridos sobre el trabajo desarrollado.

3.3.1.4. Por el tipo de inferencia

Deductivo en el sentido de que se llegó a la conclusión de la hipótesis a través de la experimentación y la observación. El enfoque hipotético-deductivo, tal como lo describe Sánchez (2019, p. 1) tiene como objetivo comprender los fenómenos y describir el origen o las causas que los originan.

3.3.1.5. Por el periodo temporal

Se trata de un estudio longitudinal ya que se observó el avance de la investigación desde la caracterización de la materia prima hasta los distintos análisis realizados (Hernández et al., 2014, p.1).

3.3.2. Diseño de investigación

3.2.2.1. Diseño factorial

Se mejoraron las condiciones de calidad de los bioplásticos obtenidos mediante el método factorial 2^k con la ayuda de un modelo experimental, que incluye:

2 = (Concentración almidón y Glicerina); k = Número de repeticiones.

Un experimento factorial es aquel que estudia el efecto de varios factores en una respuesta, además de permitir analizar la interacción de estos a través de experimentos que cambian la cantidad de cada factor de manera simultánea en lugar de hacerlo uno por uno (Minitab, 2019, p.1).

3.4. Tipo de estudio

3.4.1. Documental

Se trata de una investigación de carácter documental que se centra en los escritos de diferentes autores y que tiene como finalidad profundizar y ampliar sus teorías.

3.4.2. Experimental

Experimental porque el experimento fue provocado por el investigador que deliberadamente manipuló las variables independientes para obtener los diferentes resultados.

3.5. Identificación de variables

Tabla 1-3: Identificación de variables

Independientes	Dependientes	
Cantidad de plastificante (glicerina)	Propiedades de la biopelícula	Espesor Humedad Solubilidad del agua Permeabilidad Propiedades de tracción Biodegradabilidad

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

3.6. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

A partir de 10 kg de *Curcuma longa* se realizó extracción húmeda de almidón. También se recogieron datos sobre la muestra inicial y el rendimiento de la materia prima.

3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1. Método de muestreo

El método de muestreo utilizado en el presente estudio fue no probabilístico; al seleccionar la materia prima, se prestó atención a una buena apariencia, es decir, al tamaño, grado de madurez y la mayor ausencia posible de manchas.

3.7.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 2-3: Técnica de recolección de datos

Técnica de recolección de datos	Instrumento
Recolección de información	Fuentes bibliográficas, artículos científicos, libros y revistas.
Recolección de datos y análisis de resultados	Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio fueron tabulados en Excel.

Realizado por: Martínez, Katherine, 2022.

3.8. Parte experimental

3.8.1. Obtención del almidón

3.8.1.1. Técnica de extracción del almidón

Tabla 3-3: Técnica de extracción de almidón de cúrcuma

Método	Materiales y equipos	Procedimiento
Vía húmeda	<ul style="list-style-type: none">• Licuadora• Balanza• Cronómetro• Vaso de precipitación de 500 mL• Vasos plásticos de 32 oz.• Colador• Tela filtrante• Recipientes de plásticos• Bandejas de aluminio• Fundas ziploc• Mortero	<ul style="list-style-type: none">• Pesar 200 g de cúrcuma y colocar en la licuadora• Agregar 400 mL de agua y licuar• Realizar el proceso de filtración en un recipiente de vidrio con la utilización de la tela filtro (proceso que se realiza tres veces con la finalidad de que el agua de lavado presente una coloración no blanquecina), donde se obtendrá una suspensión la cual se dejará sedimentar hasta que se observe una capa en la base del recipiente la cual corresponde al almidón extraído.• Posteriormente, realizar la decantación del líquido.• La parte sólida restante que corresponde al almidón resultante, pesar y almacenar.

Realizado por: Martínez, Katherine, 2022.

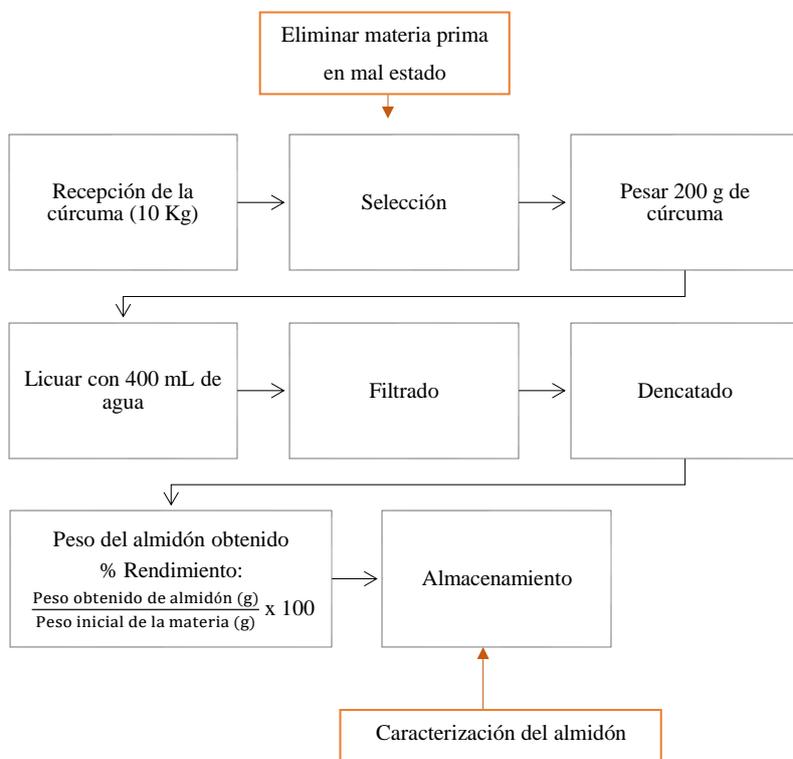


Ilustración 1-3: Diagrama para la obtención de almidón cúrcuma

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

3.8.1.2. Caracterización del almidón

La caracterización de materias primas como el almidón de cúrcuma se realizó en los laboratorios de investigación de la Academia de Ciencias ESPOCH, excepto el análisis de amilosa y amilopectina que fue realizado por el Instituto Nacional de Agricultura (INIAP). Así como análisis microbiológicos de fibras, proteínas, mohos y levaduras en SAQMIC.

Tabla 4-3: Técnicas de caracterización del almidón de cúrcuma

Ensayo	Materiales y equipos	Procedimiento	Cálculos	Método de ensayo
Humedad	Balanza analítica Crisoles plásticos o de vidrio Horno con temperatura constante y ventilación forzada Desecador	Después de secar en un horno a 80 °C durante 5 h, pesar un crisol limpio y vacío y enfriarlo en un desecador. Pesar 5 gramos de muestra de almidón en el crisol vacío. Introducir el crisol con la muestra de almidón en un horno a 80 °C durante 24 horas. Enfriar los crisoles con el almidón seco en el desecador hasta que el peso sea constante. Pesar el crisol que contiene la muestra de almidón seco.	$\% \text{ Humedad: } \frac{(P3 - P1)}{(P1 - P2)} * 100$ <p>Donde: P1: Crisol vacío P2: Peso de la muestra (g) P3: Crisol vacío más la muestra seca.</p>	INCOTEC, 2002. FAO, 2007.

Cenizas	Balanza analítica Crisoles de porcelana Desecador Mufla	<p>Pesar 1 g de almidón en el crisol previamente lavado y secado.</p> <p>Colocar el crisol con la muestra en la mufla y calcinar a 550 °C durante 3 h 30 min.</p> <p>Enfriar el crisol y la ceniza en el desecador hasta que el peso permanezca constante.</p> <p>Pesar el crisol.</p>	$\% \text{ Cenizas: } \frac{\text{Ceniza (g)} - \text{Crisol vacío (g)}}{\text{Muestra (g)}} * 100$	Aristizábal y Sánchez, 2007
pH	pHmetro Agua destilada Agitador de vidrio	<p>Pesar 5 g de almidón y disolver en 25 mL de agua destilada.</p> <p>Estandarizar el medidor de pH a 25 °C sumergiendo los electrodos en solución tampón pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura.</p> <p>Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón.</p> <p>Con el control correspondiente retornar el equipo a su posición de reposo.</p>	Reportar el valor obtenido del medido del pHmetro	INEN 1456

		Sumergir los electrodos en la solución que debe estar a 25 °C. Accionar el control de lectura y leer el pH.		
Densidad aparente	Balanza analítica Probeta graduada de 50 mL Embudo Espátula Equipo de vibración de base de madera	Densidad aparente del almidón suelto Pesar la probeta graduada vacía. Adicionar con la espátula la muestra de almidón a la probeta utilizando el embudo hasta que el volumen total sea libremente completado. Densidad aparente del almidón empacado Colocar la probeta con la muestra de almidón en un vibrador y adicionar almidón hasta que el volumen ocupado sea el valor mínimo Realizar la vibración durante cinco minutos a una frecuencia y amplitud de manera tal que la	$Da: \frac{[(Pobreta + almidón)(g)] - probeta vacía (g)}{50 mL}$	Aristizábal y Sánchez, 2007

		<p>probeta vibre rítmicamente con la base de madera.</p> <p>Medir el volumen de muestra empacada.</p>		
<p>Temperatura de gelatinización</p>	<p>Balanza analítica</p> <p>Plancha de calentamiento</p> <p>Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL</p> <p>Frascos volumétricos de 100 mL</p> <p>Pinzas de acero inoxidable</p> <p>Termómetro con escala de 0-100 °C</p>	<p>Pesar 10 g de almidón y aforar con agua destilada a 100 mL.</p> <p>Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85°C.</p> <p>Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.</p> <p>Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua de 85°C.</p> <p>Revolver constantemente hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.</p> <p>Leer la temperatura de gelatinización</p>	<p>La temperatura de gelatinización se registra como el valor del termómetro en el momento de la formación del gel.</p>	<p>INEN 1456</p>
<p>Viscosidad</p>	<p>Balanza analítica</p> <p>Viscosímetro Brookfield</p>	<p>Pesar 25 g de almidón y diluir con 500 mL de agua.</p> <p>Ebullir y remover con la varilla</p>		<p>ISI 17-1 del International Starch Institute</p>

	Aguja Vaso de precipitación de 1000 mL Plancha con agitador Termómetro	Retirar del calor y dejar enfriar el gel a 25 °C Medir la viscosidad	Registrar el valor obtenido por el viscosímetro en centipoise (cP).	
Sensibilidad	Balanza analítica Vaso de precipitación, de 25 y 250 mL Calentador de placa Probeta graduada, de 200 mL Pipetas graduadas Perilla aspiradora	En un vaso de precipitación de 25 mL pesar 1 g de muestra. Añadir 5 mL de agua fría y agitar. Transferir totalmente la suspensión en un vaso de precipitación con 200 mL de agua hirviendo. Enfriar y añadir 5 mL de esta solución a 100 mL de agua conteniendo 50 mg de Ioduro de potasio. Añadir 0,05 mL de solución de lodo 0,1 N.	Medición Cualitativa	INEN 1456
Solubilidad	Balanza analítica	Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.		Aristizábal y Sánchez, 2007

	<p>Baño con calentamiento constante</p> <p>Centrífuga</p> <p>Tubos de centrífuga</p> <p>Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL</p> <p>Horno con temperatura constante</p> <p>Pipeta volumétrica de 10 mL</p> <p>Pipeteador de 30 mL</p>	<p>Pesar en los tubos 1,25 g de almidón y agregar 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C.</p> <p>Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.</p> <p>Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 3° minutos.</p> <p>Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar y medir el volumen.</p> <p>Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitación.</p> <p>Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.</p> <p>Pesar el tubo de centrífuga con el gel.</p> <p>Pesar el vaso de precipitación con los insolubles</p>	$ISA: \frac{\text{Peso soluble (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso solubles (g)}}$	
--	--	---	--	--

Espectrometría infrarroja	Espectrofotómetro infrarrojo	En el espectrofotómetro infrarrojo se coloca una muestra de almidón, se espera y se obtiene los datos.		
------------------------------	---------------------------------	--	--	--

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

3.8.2. Obtención del bioplástico

3.8.2.1. Técnica de obtención de bioplástico

Tabla 5-3: Técnica de extracción de almidón de cúrcuma

Método	Materiales y equipos	Procedimiento
Diseño factorial 2 k para la obtención de bioplástico	<ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica• Espátula• Vasos de precipitación de 250 y 500 mL.• Probeta de 50 mL.• Vidrio reloj• Varilla de agitación• Termómetro• Reverbero• Cajas Petri de vidrio• Bandejas de vidrio	<ul style="list-style-type: none">• En un vaso de precipitación preparar una solución de agua destilada y almidón.• Colocar la solución sobre un reverbero protegido con una malla metálica.• Agitar la solución de forma constante y moderada hasta que alcanzó su temperatura de gelatinización.• Agregar el plastificante (glicerol) y el conservante (Ácido acético) y agitar hasta que la mezcla se homogenice y se deja enfriar.• Verter la mezcla sobre una caja Petri de vidrio, y colocar en un secador de bandejas tipo armario a 60°C por un tiempo determinado hasta obtener las propiedades deseadas

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

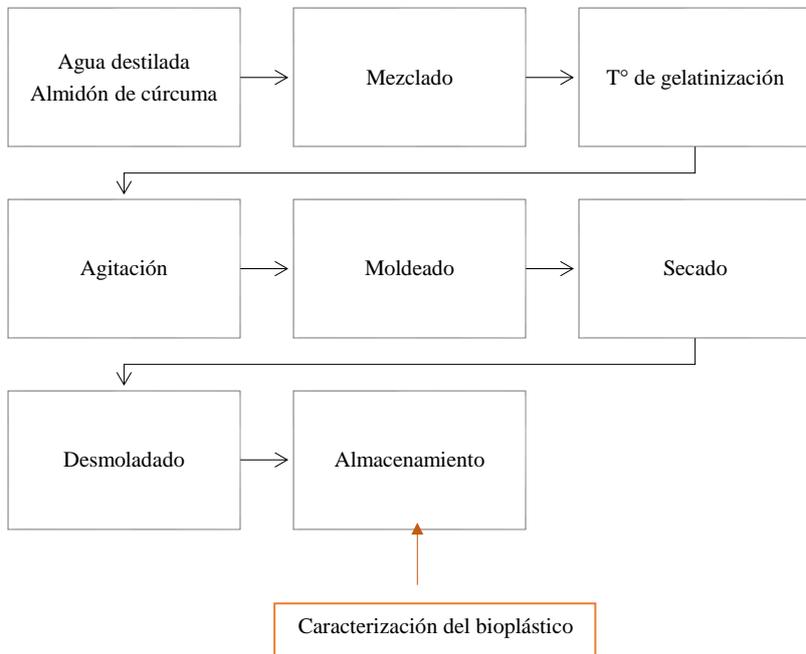


Ilustración 2-3: Diagrama para la obtención de bioplástico

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

3.8.2.2. Técnicas de caracterización obtención de bioplástico

Tabla 6-3: Técnicas de caracterización del bioplástico de cúrcuma

Ensayo	Materiales y equipos	Procedimiento	Cálculos	Método de ensayo
Espesor	Pie de rey Bioplástico	Recortar 4 láminas de plástico biodegradable con medidas de 2,5 cm x 2,5 cm de cada uno de los tratamientos. Medir con el pie de rey 10 veces el espesor en puntos espaciados de cada lámina. Sacar el promedio de los datos obtenidos.	Medición directa	Charro, 2015
Humedad	Balanza analítica Estufa Crisoles plásticos o de vidrio Desecador	Estabilizar la estufa durante 15 minutos hasta alcanzar una temperatura de 105 °C Calentar una cápsula durante 1 hora y dejar enfriar. Pesar 2 g de muestra y llevarla a la estufa a 130°C durante 1 h.	$\% \text{ Humedad: } \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{(\text{Peso inicial})} * 100$	Charro, 2015.

		<p>Luego enfriar con la ayuda de un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.</p> <p>Una vez fría la muestra reportar el residuo de harina como cantidad de sólidos totales y pérdida de peso</p>		
Solubilidad	<p>Vaso de precipitación de 100 mL</p> <p>Probeta</p> <p>Papel filtro</p> <p>Balanza analítica</p> <p>Agitador Shaker</p>	<p>Recortar una lámina de plástico biodegradable de medidas 2 cm x 2 cm</p> <p>Colocar en un vaso de precipitación de 100 mL con 80 mL de agua destilada</p> <p>Llevar a agitación de 100 rpm durante 1 hora.</p> <p>Filtrar y colocar en una estufa a 45°C hasta que no quede residuos de agua y el peso de la lámina sea constante.</p>	$\% \text{ Solubilidad: } \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{(\text{Peso inicial})} * 100$	<p>Laboratorio Tecnológico de Uruguay</p> <p>No 4-2009-INN TEC-33</p>
Permeabilidad al vapor de agua	<p>Balanza analítica</p> <p>Tubos de ensayo</p> <p>Desecador</p>	<p>Colocar silica en tubos de ensayo en una proporción de tres cuartas partes de los estos, la silica será</p>		<p>ASTM</p> <p>D1653-93</p>

		<p>sometida con anterioridad a un proceso de activación en una estufa a 105° por 24 horas</p> <p>Tapar con la lámina de plástico biodegradable de dimensiones de 3.5cm x 3.5 cm y ajustar con cinta adhesiva</p> <p>Colocar los tubos en un desecador de vidrio, en la base del desecador colocar una solución salina sobresaturada a temperatura constante, asegurándonos que se encontró bien sellado</p> <p>Pesar cada hora hasta que se obtengan 6 medidas.</p>	$WVTR: \frac{Q}{A \cdot t}$ <p>Donde:</p> <p>WVTR= tasa de transmisión de vapor de agua (g/h*m²)</p> <p>Q= peso ganado del desecante (g)</p> <p>A= área de la biopelícula (m²)</p> <p>E= espesor (m)</p> <p>t= tiempo de la prueba (h)</p> $WVP: \frac{WVTR * E}{S'(HR_2 - HR_1)}$ <p>Donde:</p> <p>WVP: permeabilidad al vapor de agua (g/h*m*MPa)</p> <p>WVTR= tasa de transmisión de vapor de agua (g/h*m²)</p> <p>S´= presión de vapor de agua a la temperatura de ensayo (MPa) (T:20°C)</p> <p>E= espesor (m)</p> <p>HR₂= es la humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada (HR₂ =75%)</p>	
--	--	---	--	--

			HR ₁ = es la humedad relativa en el interior de la celda (HR ₁ = 0%)	
Tracción	Máquina universal de pruebas tracción	Se acondiciona el equipo y se introduce la muestra, misma que es sujeta de ambos extremos. Se toman los datos generados en el equipo.		INEN 2635
Biodegradabilidad	Bioplástico	Cortar la lámina de plástico en medidas de 3cm x 3cm. Estas películas se las evaluó en agua, aire y suelo. Suelo: Colocar en tierra a unos 10 a 12 cm de profundidad. Agua: Colocar las láminas de plástico en recipientes con 300 mL de agua. Aire: Colocar las láminas de plástico expuestas al ambiente . Revisar cada 7 días con la finalidad de verificar el proceso de degradación	$\% \text{ Pérdida de peso: } \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{(\text{Peso inicial})} * 100$	INEN 2434

Realizado por: Martínez, Katerine, 2022.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis correspondientes a la materia prima

4.1.1. Características de la materia prima

4.1.1.1. Análisis sensorial de la cúrcuma

Para la evaluación sensorial de la cúrcuma se escogieron muestras en buen estado para evitar una evaluación incorrecta del olor, sabor, color y textura a la hora de determinar sus propiedades. La Tabla 1-4 muestra las propiedades obtenidas para esta materia prima, que será el compuesto principal para la producción de películas biodegradables.

Tabla 1-4: Análisis sensorial de la cúrcuma

Producto	Características				
	Color	Olor	Sabor	Textura I	Textura E
Cúrcuma	Amarillento - Marrón	Inodoro	Ligeramente Amargo	Terroso	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

4.1.1.2. Análisis físicos de la cúrcuma

Para las propiedades físicas de la cúrcuma, con el fin de obtener datos más precisos, se tomó una población de 20 unidades y sobre ella se realizaron algunas mediciones, como peso, longitud y grosor, como se muestra en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Análisis físico de la cúrcuma

No.	Producto	Características		
		Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	Cúrcuma	17,060	69,70	21,90
2		9,644	65,70	15,00
3		11,069	71,00	16,80
4		9,489	53,80	19,10
5		8,953	45,80	17,70

6	8,488	62,20	15,20
7	12,754	69,60	18,70
8	19,301	102,00	17,50
9	16,309	73,80	23,50
10	12,430	63,50	20,40
11	28,230	112,40	17,20
12	8,715	68,50	15,30
13	14,339	79,50	18,50
14	11,045	72,90	17,30
15	7,108	62,50	13,80
16	27,701	82,90	22,10
17	6,530	48,30	15,30
18	7,192	58,40	15,80
19	10,311	62,00	17,40
20	8,721	78,50	13,30
Promedio	12,769	70,150	17,590

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Los valores medidos de 1,759 cm de diámetro, 7,015 cm de longitud y 12,769 g de peso están dentro del rango descrito por García (2019, pp.49-51), quien considera óptima la cúrcuma entre 1 y 15 cm de diámetro, de 4 a 8 cm de longitud y 10-50 g de peso. Asimismo, estos resultados se asemejan a los de Philco (2017, p.54-89), que obtuvo valores promedio de 6,92 cm, 1,57 cm de longitud y diámetro, respectivamente. No obstante, el valor de pesaje es mayor con un valor de 45,3 g, es probable que esto se deba a la diferencia de la variedad de cúrcuma.

4.1.2. Análisis fisicoquímicos de la materia prima

4.1.2.1. Humedad

Tabla 3-4: Resultados de humedad

N°	% Humedad	% Promedio
1	79,415	73,536
2	66,441	
3	74,752	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

El contenido de humedad de los rizomas de la cúrcuma fue del 73,536 %, que está dentro del rango de humedad del 62 al 86 % informado por Garg et al. (1999) para rizomas de 27 accesiones recolectadas de la región sub-Himalaya de Terai en la India. Blandón y Ponce (2021, pp. 48-52) obtuvieron resultados semejantes a los de este estudio, estos investigadores sostienen que la diferencia en el contenido de humedad puede deberse a la temporada de cosecha y la variedad de cúrcuma.

4.1.2.2. Ceniza

Tabla 4-4: Resultado de cenizas de la cúrcuma

Peso crisol vacío (g)	Peso húmedo (g)	Peso ceniza (g)	% Total	% Promedio
34,393	35,395	34,457	6,375	6,634
39,938	40,948	40,001	6,150	
34,394	35,397	34,468	7,378	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Según estudios de la composición química de la cúrcuma realizados por varios investigadores, incluidos Comange (1964), Maistre (1969) y Latin American Food Code (1964), se determinó que la cúrcuma contiene entre un 6 % y un 8 % de ceniza. En este estudio, los porcentajes obtenidos del 6,634 % de ceniza estuvieron dentro de los valores especificados, pero difirieron de los hallazgos realizados por García (2019, pp. 49-51) y Mora (2020, p. 76) debido a que reportaron porcentajes de cenizas de 9,86% y 10,41%, respectivamente. García (2019, p. 49) explica que la variación de porcentajes se debe a que las muestras pueden haber sido cultivadas en regiones más húmedas, lo que puede haber influido en la composición química de la cúrcuma.

4.1.2.3. Solubilidad

Tabla 5-4: Datos de solubilidad en agua de la cúrcuma

N°	Peso muestra (g)	Volumen retirado (mL)	Peso soluble (g)	V(mL)
1	1,256	23	0,12	10
2	1,258	23	0,12	10
3	1,256	23	0,12	10

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 6-4: Resultados de solubilidad en agua de la cúrcuma

N°	% Total	% Promedio
1	21,975	21,962
2	21,940	
3	21,971	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La tabla 6-4 muestra el valor promedio de 21,962% de la solubilidad de la cúrcuma, de acuerdo con Anim (2022, pp. 87-94) la solubilidad de un soluto se refiere a la cantidad de soluto que se disuelve en 100 gramos de agua para producir una solución saturada.

4.1.2.4. pH

Tabla 7-4: Resultados de pH de la cúrcuma

N°	Total	Promedio
1	6,24	6,407
2	6,42	
3	6,56	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La cúrcuma tiene un pH promedio de 6,407, el cual es ligeramente diferente al pH 5,90 reportado por la Anim (2022, pp. 87-94), en cambio Correa (2015, p. 61) reporta un pH de 7,1, la diferencia se puede atribuir a la variedad cosechada.

4.1.2.5. Densidad aparente

Tabla 8-4: Datos de densidad aparente de la cúrcuma

N°	Peso probeta vacía (g)	Peso muestra suelta (g)	Peso muestra empacada (g)
1	70,829	89,163	90,715
2	70,828	89,174	90,717
3	70,819	89,134	90,712

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 9-4: Resultados de densidad aparente de la cúrcuma

N°	Muestra suelta	Promedio (g/mL)	Muestra empacada	Promedio (g/mL)
1	0,367	0,367	0,398	0,398
2	0,367		0,398	
3	0,366		0,398	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La densidad aparente promedio obtenida en este estudio fue de 0,398 g/mL, similar a la de 0,42 g/mL obtenido por Oladimeji et al. (2019, pp. 32.36), pero por debajo del valor reportado por De Ramos et al. (2021, pp. 27-38), quienes obtuvieron una densidad aparente de la cúrcuma de 0,512 g/mL. La variación de valor se debe a que la cúrcuma es de un tipo diferente o a que la cosecha fue en época diferente, según Blandón y Ponce (2021, pp. 48-52).

4.1.3. Análisis de fibra y proteína de la materia prima

Tabla 10-4: Resultados de fibra y proteína de la cúrcuma

Parámetro	Unidades	Promedio
Proteína	%	12,1
Fibra	%	2,31

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

En la tabla 10-4 se exhiben los resultados de la proteína y la fibra obtenidos a partir de la cúrcuma, Nakkala (2020, pp. 5712-5717) sostiene que esta materia prima presenta un promedio de entre 6-8% de proteína y de 1-6% de fibra, el valor de 2,31% de fibra es el único que se encuentra dentro del rango sugerido por los investigadores. Esparza (2021, pp. 34-35) reportó valores similares a los obtenidos en el presente estudio, el autor obtuvo un porcentaje de proteína y fibra de 10,62% y 4,6%, respectivamente.

4.1.4. Análisis microbiológicos de la materia prima

Tabla 11-4: Resultados microbiológicos de la cúrcuma

Parámetro	Unidades	Promedio
Coliformes totales	UFC/g	< 10
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 10

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

En la tabla 11-4 se muestra el resultado del análisis microbiológico, en el que se observa que la cúrcuma tiene valores de UFC/g de <10 para coliformes totales y mohos y levaduras. El resultado es el mismo que obtuvo Salomón (2020, pp. 1-3), lo que indica una calidad adecuada de la materia prima.

4.2. Resultados obtenidos del proceso de extracción del almidón

4.2.1. Rendimiento del almidón a partir de la cúrcuma

El proceso de extracción del almidón de la cúrcuma (*Curcuma Longa*) se realizó empleando un diseño factorial 2k, que involucró cuatro tratamientos diferentes con cuatro repeticiones diferentes cada uno, lo que resultó en resultados de rendimiento más precisos. Las variables utilizadas para la obtención de almidón por vía húmeda se describen en la Tabla 12-4.

Tabla 12-4: Variables para la extracción de almidón

Variables		
Revoluciones por minuto (RPM)	1	2
Tiempo(Segundos)	30	45

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 13-4: Resultados del rendimiento de la extracción de almidón de cúrcuma

Producto	Tratamiento	Variables	Repetición	Volumen agua (mL)	Peso (g)			Rendimiento (%)		Tiempo secado (h)	
					Producto	Almidón		R	Promedio		
						R	Promedio				Total
Cúrcuma	T1	RPM 1 : 30s	R1	400	200	19,794	18,7915	75,166	9,897	9,396	24h
			R2			17,591			8,795		
			R3			19,986			9,993		
			R4			17,796			8,898		
	T2	RPM 2 : 30s	R1			20,443	18,2815	73,126	10,220	9,141	24h
			R2			18,668			9,334		
			R3			18,874			9,435		
			R4			15,148			7,574		
	T3	RPM 1 : 45s	R1			16,544	17,1255	68,502	8,270	8,563	24h
			R2			17,808			8,904		
			R3			17,952			8,975		
			R4			16,204			8,102		
	T4	RPM 2 : 45s	R1			19,202	19,389	77,556	9,601	9,695	24h
			R2			17,816			8,908		
			R3			18,546			9,273		
			R4			21,992			10,996		

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

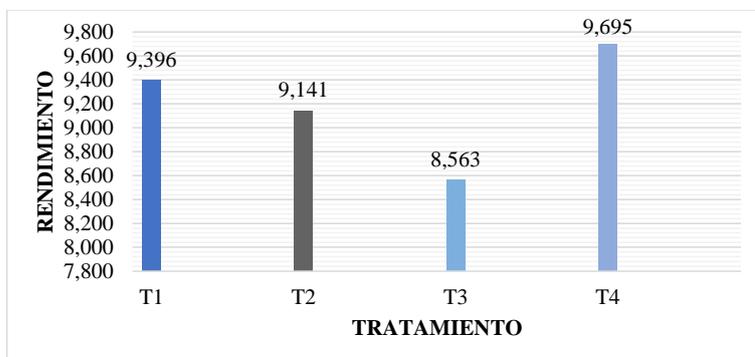


Ilustración 1-4: Rendimiento del almidón de cada tratamiento

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Los rendimientos para los diferentes tratamientos fueron: T1 9,396%; T2 9,141%; T3 8,563% y T4 9,695%, las variaciones en la producción de almidón dentro de una especie dependen de varios factores, como su hábitat, el tiempo de cosecha, el método de extracción y la composición genética (Tejavati, et al, 2020, pp. 1-8). Garcés (2016, p. 20; citado en Yautibug, 2021, p. 34) afirma que el proceso de extracción de almidón es efectivo si se obtienen 15-20 % de almidón, por lo que todos los resultados están por debajo de este rango. El tratamiento más eficaz es el T4, que tiene un rendimiento del 9,695%:

4.2.2. Análisis fisicoquímicos del almidón de cúrcuma

4.2.2.1. Humedad

Tabla 14-4: Resultado de promedio del almidón

N°	Humedad %	Promedio %
1	10,940	10,388
2	9,772	
3	10,451	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

El contenido de humedad promedio del almidón obtenido fue de 10,388 %, según Moorthy (2002; citado en: Paredes, 2022, pp. 52-54) el contenido que debe tener el almidón de tubérculo oscila entre 14 y 19 %, por lo que el valor obtenido no está dentro de los valores establecidos. Asimismo, el resultado obtenido es inferior al valor del 15% reportado por Nakkala (2022, pp. 5712-5717) en su estudio sobre el aislamiento de almidón de *Curcuma longa l.* Chimbo (2021, pp. 1-113) considera que la diferencia de valores de humedad está relacionada con factores como diferentes variedades

de tubérculos y condición en que se encuentren, diferentes procesos de extracción o diferentes factores químicos.

4.2.2.2. Ceniza

Tabla 15-4: Resultado de cenizas del almidón a partir de la cúrcuma

Peso crisol vacío (g)	Peso húmedo (g)	Peso ceniza (g)	Total %	Promedio %	Estándar	Norma
44,710	54,740	44,722	0,120	0,135	≤ 0,12 %	AOAC (2000)
39,623	49,628	39,637	0,136			
31,677	41,767	31,692	0,149			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

En cuanto al análisis de cenizas, se obtuvo una media de 0,135 %, lo que reveló que este parámetro se encuentra ligeramente fuera del rango de ≤ 0,12 %; especificado por la norma AOAC (2000). Por otro lado, el valor es inferior al 0,65 y 0,36 obtenido por Nakkala (2022, pp. 5712-5717) y Tejavati et al. (2020, pp. 1-8), respectivamente en su estudio de extracción de almidón de cúrcuma.

4.2.2.3. pH

Tabla 16-4: Resultado del pH del almidón a partir de la cúrcuma

N°	Total	Promedio	Estándar	Norma
1	6,66	6,673	6-7	NTE INEN 1456
2	6,72			
3	6,64			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Otro aspecto del almidón de cúrcuma que se estudió fue su pH, el cual tuvo un valor promedio de 6,673, el cual se encuentra dentro del rango de 6-7 de la norma NTE INEN 1456. Por otro lado, FAO et al. (2007, pp. 73-74) determinaron que el pH del almidón debe estar entre 6,0 y 6,5, el cual al igual que el valor obtenido por Tejavati et al. (2020, pp. 1-8), es ligeramente superior a los parámetros especificados en esta norma.

4.2.2.4. Sensibilidad

Tabla 17-4: Resultado del análisis de sensibilidad

Almidón de cúrcuma	
Sensibilidad	Positivo

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Se observó la presencia de un color azul oscuro, indicando la presencia de almidón. El almidón cumple con análisis según norma NTE INEN 1456.

4.2.2.5. Viscosidad

Tabla 18-4: Resultado del análisis de viscosidad

Nº	Viscosidad (sP)	Promedio	Estándar	Norma
1	7035,2	7035,567	840-1500 cP	ISI 17-1 del International Starch Institute
2	7036,4			
3	7035,1			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Los valores especificados en la Tabla 18-4 indican que el almidón resultante no cumple con los requisitos de la norma ISI 17-1, ya que la viscosidad del almidón alcanzada supera los 840-1500 sP criterios especificados por dicha norma, la razón de la diferencia se debe a que la norma que se empleó para este ensayo se enfocó en otro tipo de almidón, como es el de la yuca, que tiene una conducta diferente al de la cúrcuma. De acuerdo con Adel y Ebrahim (2022, pp. 2-17) el almidón de cúrcuma tiene un alto rango de viscosidad.

4.2.2.6. Temperatura de gelatinización

Tabla 19-4: Resultado del análisis de gelatinización

Nº	Temperatura (°C)	Promedio (°C)	Estándar	Norma
1	75	74,333	57,5-70	INEN 1456
2	74			
3	74			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La temperatura de gelatinización del almidón fue de 74,333 °C, la cual está por encima de la temperatura de referencia de 57,5-70 establecida en la norma INEN 1456. Sin embargo, es menor que el valor de 80°C expresado por Nakkala (2022, pp. 5712-5717). Moorthy (2002, pp. 559-592) señaló que existen diferencias en la temperatura de gelatinización entre diferentes genotipos de cúrcuma debido a la naturaleza de la organización estructural del almidón, las regiones amorfas y cristalinas de la amilosa y la linealidad de la amilopectina. Asimismo, Adel y Ebrahim (2022, pp. 2-17) plantean que el almidón de cúrcuma tiene una alta temperatura de gelatinización.

4.2.2.7. Solubilidad

Tabla 20-4: Datos para la solubilidad del almidón a partir de la cúrcuma

N°	Peso muestra (g)	Volumen retirado (mL)	Peso soluble (g)	V(mL)
1	1,256	28	0,088	10
2	1,254	28	0,088	10
3	1,252	28	0,088	10

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 21-4: Resultado de solubilidad del almidón a partir de la cúrcuma

N°	% Total	% Promedio	Estándar	Norma
1	19,618	19,649	0,27-12,52	INEN 1456
2	19,649			
3	19,681			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La norma INEN 1456 y FAO et al (2007, pp. 73-74) indican que el valor del índice de solubilidad en agua (ISA) debe estar en el rango de 0,27-12,52%. El valor medio obtenido es de 19,649%, que supera los parámetros especificados por la norma. Los factores que afectan la solubilidad del almidón son el origen, la capacidad de hinchamiento, las fuerzas de interacción en los dominios amorfo y cristalino y la presencia de otros compuestos (Tejavati et al, 2020, pp. 1-8).

4.2.2.8. Densidad aparente

Tabla 22-4: Datos de densidad aparente del almidón

N°	Peso probeta vacía (g)	Peso muestra suelta (g)	Peso muestra empacada (g)
1	70,824	89,618	90,753
2	70,823	89,621	90,754
3	70,831	89,631	90,761

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 23-4: Resultados de densidad aparente del almidón

N°	Muestra suelta	Promedio (g/mL)	Muestra empacada	Promedio (g/mL)
1	0,376	0,376	0,399	0,399
2	0,376		0,399	
3	0,376		0,399	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La densidad aparente es un indicador de la gravedad de las muestras sólidas. La densidad aparente, en este estudio, fue de 0,376 g/mL y 0,399 g/mL para el almidón disuelto y el almidón empacado, respectivamente. Estos valores son similares a los obtenidos por Nakkala (2022, pp. 5712-5717), sin embargo, FAO (2007, p. 80) estipula que la densidad promedio del almidón debe ser de 1.560 g/mL, por lo que los valores obtenidos son inferiores a este valor de referencia. Reyes et al (2019, pp. 35-44) argumentan que la densidad aparente está relacionada con el tamaño de las partículas de la muestra.

4.2.2.9. Amilosa y amilopectina

Tabla 24-4: Resultados de amilosa y amilopectina del almidón de cúrcuma

Parámetro	Unidades	Promedio
Amilosa	%	65,13
Amilopectina	%	34,87

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La cantidad de amilosa y amilopectina presentes en el almidón fue de 65,13% y 34,87%, respectivamente, según la FAO (2007), la cantidad de amilosa variaba dependiendo del tipo y procedencia del tubérculo. Nakkala (2020, p. 5712) afirma que el almidón de cúrcuma con alto contenido de amilosa genera películas gruesas y alargadas, que son apropiadas para elaborar

plásticos para alimentos, por lo que el resultado obtenido indica un almidón óptimo para la obtención de bioplástico.

4.2.3. Análisis microbiológicos del almidón de cúrcuma

Tabla 25-4: Resultados microbiológicos del almidón de cúrcuma

Parámetro	Unidades	Promedio	Estándar	Norma
Coliformes totales	UFC/g	< 10	Ausencia	FAO (2007)
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 10	1 000-5 000 UFC/g	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Finalmente, se evaluó la presencia de microorganismos patógenos que podrían afectar la calidad del almidón producido a partir de cúrcuma. Según la FAO (2007, p.45), el recuento de hongos y levaduras en el almidón no debe ser mayor a 1 000-5 000 UFC/g y el de *Escherichia coli* en el almidón debe ser menor a 10 UFC/g. En el análisis se encontraron valores menores a 10 UFC/g, por lo tanto, los valores analizados se encuentran dentro de los parámetros permitidos.

4.3. Obtención de bioplástico

Para obtener los bioplásticos, se prepararon cuatro formulaciones (tabla 26-4) en las que se varió la cantidad de agua, glicerol y almidón mientras se mantuvieron constantes las cantidades de ácido acético.

Tabla 26-4: Tratamiento del bioplástico

Producto	Ácido acético (mL)	Agua (mL)	Almidón (g)	Glicerina (mL)
Cúrcuma	3	35	4	2
				2,5
	40	5	3	
			3,5	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

4.3.1. Caracterización del espesor del biofilm

Tabla 27-4: Espesor, ancho y longitud de cada tratamiento

Tratamiento	R	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud (mm)
T1	1	0,2	16,8	37,8
	2	0,2	16,6	37,8
	3	0,2	16,3	37
	4	0,2	16,5	37,1
Promedio		0,2	16,55	37,425
T2	1	0,2	16	35,9
	2	0,2	16,3	36,9
	3	0,1	16,3	37,2
	4	0,2	16,2	37,3
Promedio		0,18	16,2	36,83
T3	1	0,2	16,3	36,3
	2	0,1	16,5	36,1
	3	0,2	16,7	37,6
	4	0,3	16,2	36,3
Promedio		0,2	16,43	36,58
T4	1	0,2	16	37,6
	2	0,2	15,7	36,8
	3	0,2	16	38,1
	4	0,2	16	36,7
Promedio		0,2	15,925	37,3

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

El espesor de la biopelícula generalmente no se controla directamente. Sin embargo, el grosor de la biopelícula puede tener efectos profundos en la diversidad y actividad microbiana. Según la NTE INEN 254, el espesor del film plástico no debe ser inferior a 0,2 mm. Los valores de humedad de las películas T1, T2, T3 y T4 fueron 0,2, 0,18, 0,2 y 0,2 mm, respectivamente, lo que indicó que cumplen con el espesor requerido.

4.3.2. Humedad del bioplástico

Tabla 28-4: Humedad del bioplástico

Tratamiento	R	% Humedad	% Promedio
T1	1	19,681	19,624
	2	19,318	
	3	19,872	
T2	1	16,058	16,322
	2	16,406	
	3	16,503	
T3	1	17,551	19,018
	2	19,433	
	3	20,069	
T4	1	16,547	16,171
	2	15,249	
	3	16,716	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

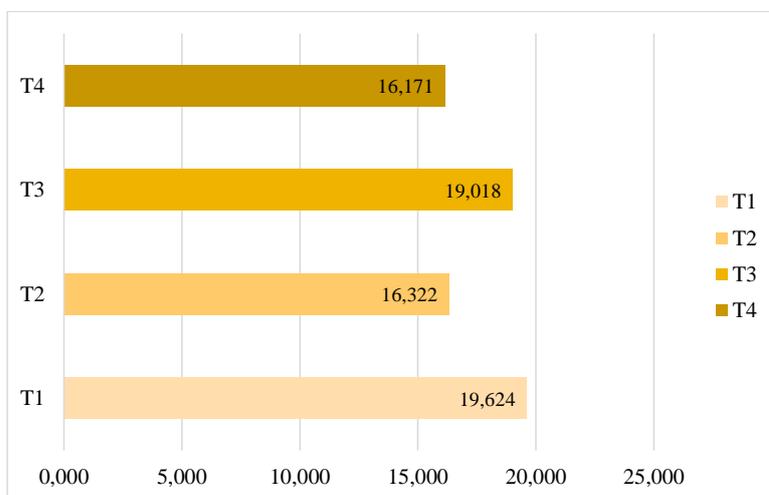


Ilustración 2-4: Media del porcentaje humedad del bioplástico obtenido en cada tratamiento

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Gavilánez (2021, p. 71) resaltó que la humedad es una propiedad esencial de los bioplásticos, que tiene una importancia significativa en conjunto con la biodegradabilidad, ya sea debido a que la materia prima es biodegradable o debido a que los aditivos forman una película que la hace biodegradable. En la tabla 28-4 se exhiben los resultados de humedad obtenidos tras cada uno de los tratamientos.

Como se puede apreciar en la ilustración 2-4, el tratamiento con mayor contenido de humedad es el T1 con 19,624%, en comparación con el T4 que tiene un contenido de humedad menor de 16,171%, lo que según Gaona (2022, pp. 54-55) prolonga la vida útil del bioplástico.

Al contrastar los resultados con el valor de <1% establecido en la norma ASTM 6980 para la cantidad de humedad en los plásticos convencionales, se concluye que los valores obtenidos para los cuatro tratamientos exceden el límite permitido por la norma, sin embargo, los porcentajes de humedad obtenidos son similares a los reportados por Maniglia et al (2015, pp. 1188-1194), en el estudio de optimización de películas de cúrcuma plastificadas con glicerol, los investigadores lograron un promedio de humedad de 16,27%.

4.3.3. Solubilidad del bioplástico

Tabla 29-4: Datos para la solubilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma

Tratamiento	Peso inicial seco (g)	Peso final seco (g)
T1	0,159	0,146
	0,16	0,145
	0,158	0,146
T2	0,159	0,144
	0,159	0,144
	0,158	0,143
T3	0,202	0,108
	0,2	0,109
	0,204	0,108
T4	0,211	0,188
	0,2	0,188
	0,21	0,187

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 30-4: Resultado de solubilidad del bioplástico partir de la cúrcuma

Tratamiento	R	% Solubilidad	% Promedio
T1	1	8,18	8,38
	2	9,38	
	3	7,59	
T2	1	9,43	9,45
	2	9,43	
	3	9,49	
T3	1	46,53	46,36
	2	45,50	
	3	47,06	
T4	1	10,90	9,28
	2	6,00	
	3	10,95	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

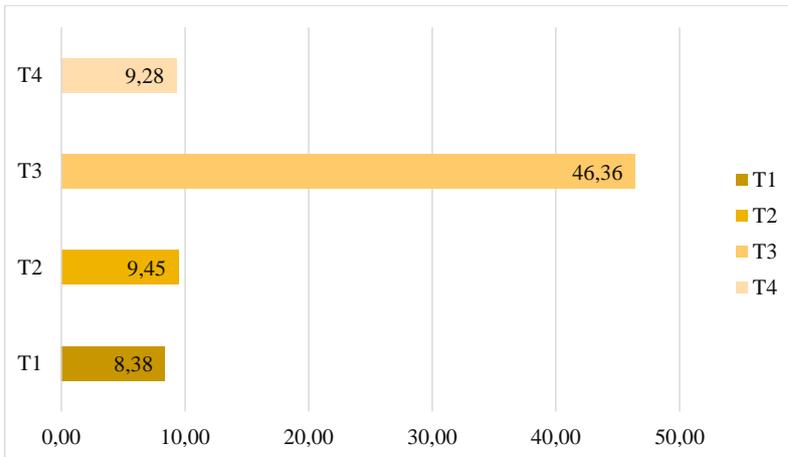


Ilustración 3-4: Media del porcentaje solubilidad del bioplástico obtenido en cada tratamiento

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

La solubilidad de las biopelículas de almidón de cúrcuma es crucial, ya que Herrera (2021, pp. 65-66) afirma que esta propiedad determina si los bioplásticos pueden biodegradarse naturalmente en el medio ambiente a su debido tiempo. Como se observa en la ilustración 3-4, el tratamiento T3 obtuvo la mayor cantidad de solubilidad, alcanzando 46,36%, en tanto que los tratamientos T2,

T3 y T4 registraron una solubilidad de 8,38%; 9,45%; y 9,28%, respectivamente, estos resultados son beneficiosos ya que Paredes (2022, p.71-76) argumenta que los bioplásticos deben tener una solubilidad máxima del 70% para ser utilizados como envoltura de alimentos o como revestimiento de cápsulas médicas. Además, según Cuenca (2021, p. 81), para mantener la higiene de los alimentos, es decir, para conservar su sabor, color y olor, la baja solubilidad es una condición necesaria.

4.3.4. Permeabilidad del bioplástico

Tabla 31-4: Datos para la permeabilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma

Tratamiento	R	Peso inicial (g)	Tiempo (h)						Área (m ²)	Espesor (mm)
			1	2	3	4	5	6		
T1	1	22,87	22,88	22,88	22,87	22,87	22,87	22,87	20,60	0,20
	2	22,87	22,88	22,89	22,88	22,87	22,87	22,87	20,60	0,20
	3	22,87	22,88	22,88	22,87	22,87	22,87	22,87	20,60	0,21
T2	1	22,13	22,15	22,14	22,14	22,13	22,13	22,14	20,81	0,10
	2	22,13	22,15	22,14	22,14	22,13	22,13	22,14	20,81	0,10
	3	22,13	22,15	22,14	22,14	22,13	22,14	22,13	20,80	0,10
T3	1	22,24	22,26	22,25	22,25	22,25	22,25	22,25	21,10	0,20
	2	22,24	22,26	22,26	22,25	22,25	22,25	22,25	21,10	0,20
	3	22,24	22,26	22,25	22,25	22,25	22,25	22,52	21,10	0,20
T4	1	22,54	22,56	22,56	22,55	22,55	22,55	22,55	20,80	0,20
	2	22,54	22,56	22,56	22,55	22,55	22,55	22,55	20,80	0,20
	3	22,54	22,56	22,56	22,55	22,55	22,55	22,55	20,80	0,20

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 32-4: Resultado de permeabilidad del bioplástico a partir de la cúrcuma

Tratamiento	R	Permeabilidad (g*mm/h*m ² *MPa)	Promedio (g*mm/h*m ² *MPa)
T1	1	1,26E-04	1,47E-04
	2	1,79E-04	
	3	1,35E-04	
T2	1	1,22E-04	1,24E-04
	2	1,28E-04	
	3	1,23E-04	
T3	1	2,86E-04	4,18E-04

	2	2,75E-04	
	3	6,93E-04	
T4	1	3,38E-04	3,35E-04
	2	3,35E-04	
	3	3,33E-04	

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

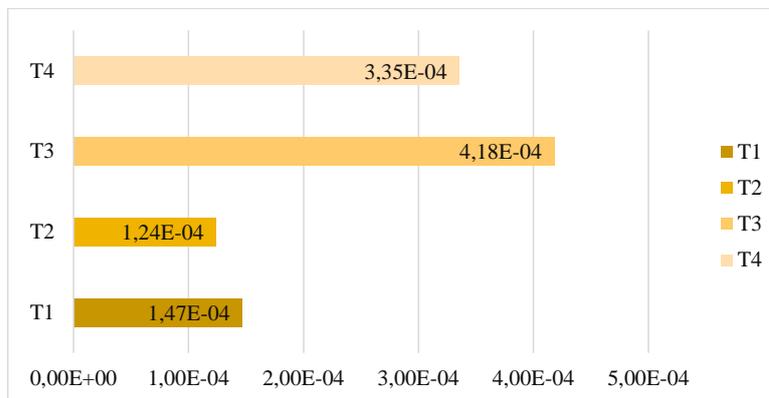


Ilustración 4-4: Media de la permeabilidad del bioplástico obtenido en cada tratamiento

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Según Guamán (2022, p. 47-60) dado que una de las principales propiedades de los plásticos comunes es evitar o reducir la transferencia de vapor de agua entre el producto y el medio ambiente, la permeabilidad de los bioplásticos debe tener valores mínimos. En consecuencia, de acuerdo con los resultados reflejados en la ilustración 4-4, se estima que el tratamiento T2 (1,24E-04 (g*mm/h*m²*MPa)) será el más adecuado porque evitará la transferencia de vapor de agua al interior y conservará mejor el producto que recubre. Además, Niveló (2021, p. 31) sostuvo que el transporte de vapor de agua es una propiedad que afecta la deterioración de la película, y que es un fenómeno que se relaciona con la adsorción y la difusión.

4.3.5. Análisis Anova de las pruebas físico-químicas

Tabla 33-4: Resultado del ANOVA

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Espesor	Inter-grupos	,003	3	,001	,667	,596
	Intra-grupos	,013	8	,002		
	Total	,017	11			
Ancho	Inter-grupos	,843	3	,281	6,878	,013
	Intra-grupos	,327	8	,041		
	Total	1,169	11			
Longitud	Inter-grupos	2,169	3	,723	1,634	,257
	Intra-grupos	3,540	8	,443		
	Total	5,709	11			
Permeabilidad	Inter-grupos	,000	3	,000	4,273	,045
	Intra-grupos	,000	8	,000		
	Total	,000	11			
Solubilidad	Inter-grupos	3136,482	3	1045,494	437,981	,000
	Intra-grupos	19,097	8	2,387		
	Total	3155,579	11			
Humedad	Inter-grupos	28,937	3	9,646	15,478	,001
	Intra-grupos	4,985	8	,623		
	Total	33,922	11			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 34-4: Resultado prueba Tukey solubilidad

Solubilidad			
HSD de Tukey ^a			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	3	8,3833	
T4	3	9,2833	
T2	3	9,4500	
T3	3		46,3633
Sig.		,832	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 35-4: Resultado prueba Tukey humedad

Humedad

HSD de Tukey^a

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T4	3	16,1707	
T2	3	16,3223	
T3	3		19,0177
T1	3		19,6237
Sig.		,995	,785

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

En la tabla 33-4 se observa que solo las propiedades de solubilidad y humedad son significativamente diferentes, ya que su valor de $p < 0.05$, según la prueba de Tukey realizada a ambas propiedades, se puede observar que el tratamiento T3 difiere en la propiedad de solubilidad y en humedad, el tratamiento T1 y T3 son diferentes al tratamiento T2 y T4

4.3.6. Pruebas mecánicas del bioplástico

Tabla 36-4: Resultado de pruebas mecánicas del bioplástico a partir de la cúrcuma

Tratamiento	R	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación máxima (%)
T1	1	1,57	3,11	0,47	8,24
	2	1,01	1,80	0,30	4,51
	3	3,39	4,77	1,04	12,90
	4	1,55	1,95	0,47	5,25
T2	1	0,75	1,60	0,47	4,45
	2	1,22	2,63	0,75	7,12
	3	0,64	2,60	0,40	7,00
	4	1,26	10,44	0,40	27,99
T3	1	0,37	8,78	0,23	24,45

	2	0,28	6,67	0,17	18,07
	3	0,34	5,96	0,21	15,85
	4	0,62	8,66	0,13	23,85
T4	1	0,40	5,70	0,12	15,17
	2	0,10	2,36	0,33	6,42
	3	0,60	1,64	0,19	4,31
	4	0,23	4,22	0,70	12,05

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Tabla 37-4: Promedio de pruebas mecánicas del bioplástico a partir de la cúrcuma

Tratamiento	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación máxima (%)
T1	1,87875	2,90675	0,56975	7,7235
T2	0,96625	4,317	0,50175	11,639
T3	0,39925	7,516	0,182	20,5555
T4	0,3305	3,483	0,335	9,48775

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

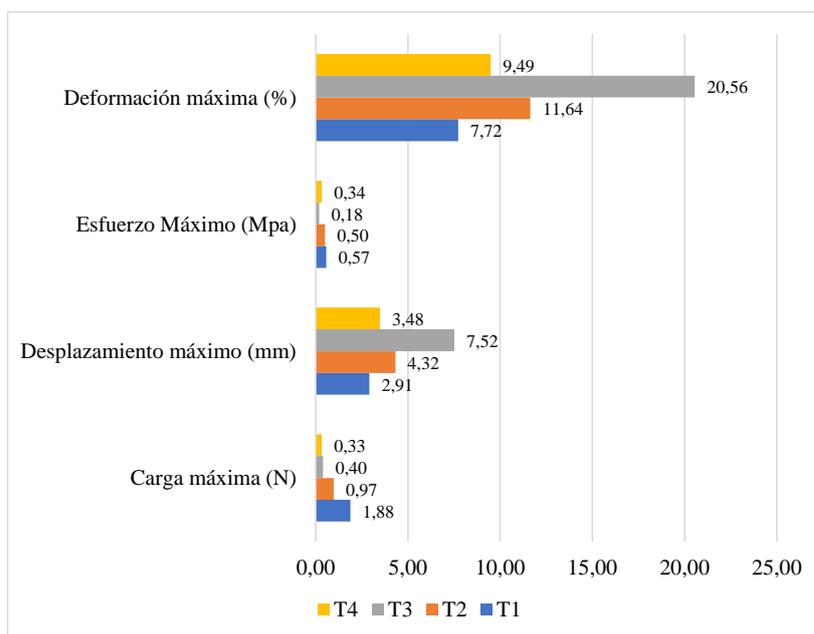


Ilustración 5-4: Comparación de las pruebas mecánicas obtenidas en cada tratamiento

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Los valores promedio de cada propiedad mecánica de los bioplásticos se muestran en la tabla 37-4 y se reflejan en la Ilustración 5-4, al analizar los resultados se identifica que el tratamiento T3 tuvo el porcentaje más alto de deformación máxima con 20,56% y el desplazamiento máximo más alto con 7,52 mm. En contraste, el tratamiento T1 tuvo el esfuerzo máximo más alto a 0,57 MPa y la carga máxima más alta a 1,88 N. PH Technology (2022, pp. 1) argumenta que las propiedades mecánicas están relacionadas con el comportamiento de los polímeros en varios procesos mecánicos. Describen el comportamiento de los objetos frente a las fuerzas que se les imponen. Por ello, es importante tener en cuenta estas propiedades a la hora de elegir el material adecuado para cada proyecto.

Tabla 38-4: ANOVA de las pruebas mecánicas del bioplástico partir de la cúrcuma

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Carga_Máx	Inter-grupos	6,138	3	2,046	6,540	,007
	Intra-grupos	3,754	12	,313		
	Total	9,892	15			
Desplazamiento_Máx	Inter-grupos	50,811	3	16,937	2,804	,085
	Intra-grupos	72,480	12	6,040		
	Total	123,291	15			
Esfuerzo_Máx	Inter-grupos	,361	3	,120	2,396	,119
	Intra-grupos	,604	12	,050		
	Total	,965	15			
Deformación_máx	Inter-grupos	389,643	3	129,881	2,919	,078
	Intra-grupos	533,900	12	44,492		
	Total	923,542	15			

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Se llevó a cabo un análisis de varianza, que sirve para comparar las medias de cada uno de los tratamientos entre sí, de esta manera se puede determinar si existe o no una diferencia significativa entre ellos. Los resultados de la tabla 38-4 del análisis ANOVA indican que no existe una

diferencia significativa entre los tratamientos para las propiedades mecánicas de deformación máxima, desplazamiento máximo y esfuerzo máximo. Esto significa que cualquier tratamiento es adecuado para estos parámetros. Por otro lado, en la propiedad con carga máxima se produjo dicha diferencia debido a que la probabilidad se encontró por debajo del 0,05 de significancia. Se encontró que el tratamiento T1 era estadísticamente diferente de los tratamientos T3 y T4 luego de completar un análisis de Tukey (Tabla 39-4) de la propiedad mecánica de carga máxima.

Tabla 39-4: Prueba de Tukey de la carga máxima

Carga_Máx

HSD de Tukey^a

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T4	4	,3325	
T3	4	,4025	
T2	4	,9675	,9675
T1	4		1,8800
Sig.		,412	,151

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000.

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

4.4. Biodegradabilidad

La capacidad de descomposición del bioplástico se evaluó durante 35 días en tres condiciones diferentes: agua, tierra y aire, los resultados fueron los siguientes:

4.4.1. Aire

Tabla 40-4: Biodegradabilidad del bioplástico a partir de cúrcuma en el aire

Tratamiento	Unidad	Días de pesaje					
		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
T1	g	0,11	0,11	0,10	0,07	0,05	0,03
T2	g	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05
T3	g	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,09
T4	g	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

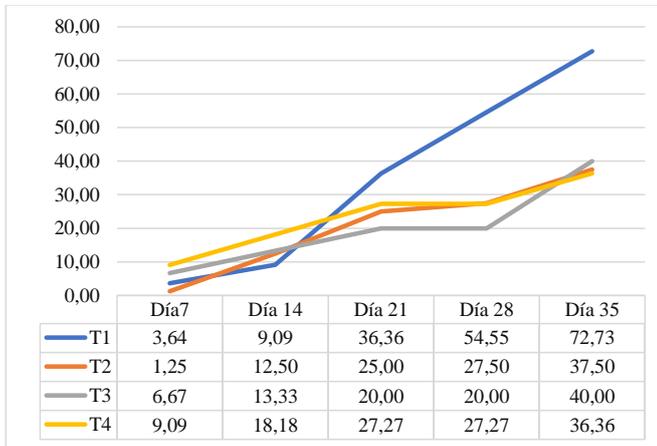


Ilustración 6-4: Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el aire

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Según Gaona (2022, pp. 64-65), el grado de degradación en el aire es menor en comparación con otros ambientes, debido a que no existen agentes que aceleren sus propiedades, su proceso de degradación se retrasa, pero evoluciona hacia su degradación total. El tratamiento T1 fue el que mostró una mayor tasa de biodegradabilidad, que fue del 72,73% de reducción al final del seguimiento a los 35 días, en tanto que el tratamiento T4 fue el que mostró la menor tasa de biodegradabilidad, alcanzando el 36,36% de reducción.

4.4.2. Suelo

Tabla 41-4: Biodegradabilidad del bioplástico a partir cúrcuma en el suelo

Tratamiento	Unidad	Días de pesaje					
		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
T1	g	0,11	0,107	0,08	0,07	0,06	0,04
T2	g	0,08	0,075	0,06	0,06	0,06	0,05
T3	g	0,15	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03
T4	g	0,11	0,109	0,1	0,09	0,08	0,05

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

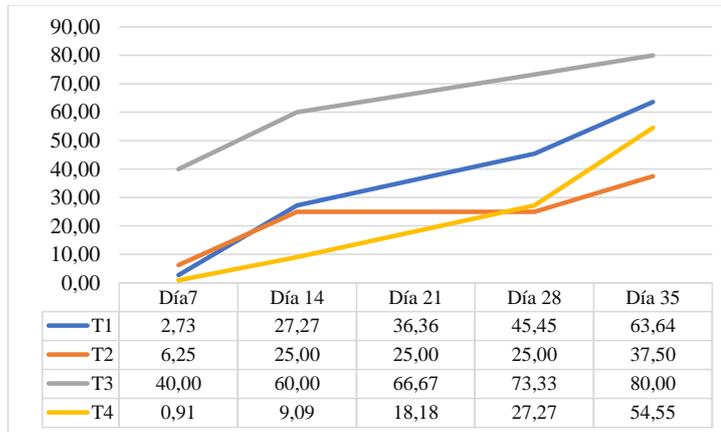


Ilustración 7-4: Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el suelo

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Se evaluó la biodegradabilidad de las películas en suelo, para lo cual las películas se colocaron bajo tierra bajo diferentes condiciones atmosféricas, ej.: luz, oscuridad, aire. En la ilustración 7-3 se observa que las biopelículas se descomponen con el transcurso del tiempo, además se percibe que las láminas se vuelven quebradizas y se encarrujan mientras pasan los días. El tratamiento T3 mostró el mejor grado de biodegradabilidad ya que se redujo en un 80% en los 35 días monitoreados. Según Guamán (2021, p. 56), la biodegradación se produce cuando los microorganismos del suelo comienzan a digerir los macronutrientes como las proteínas y las grasas, así como los polisacáridos como el almidón.

4.4.3. Agua

Tabla 42-4: Biodegradabilidad del plástico a partir de cúrcuma en el agua

Tratamiento	Unidad	Días de pesaje					
		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
T1	g	0,11	0,08	-	-	-	-
T2	g	0,08	0,07	-	-	-	-
T3	g	0,15	0,05	-	-	-	-
T4	g	0,11	0,07	-	-	-	-

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

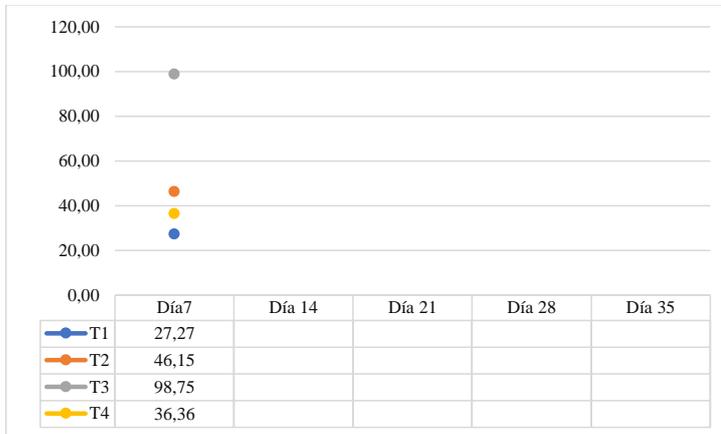


Ilustración 8-4: Evolución porcentual de la biodegradabilidad en el agua

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Los bioplásticos que se evaluaron en el día 7 tenían una consistencia muy blanda y frágil, del día 14 al día 35 ya no era posible pesarlos debido a su fragilidad, sin embargo, se observó que todos los tratamientos se degradaron en menos de 35 días. El tratamiento T3 mostró la mayor tasa de degradación, con una reducción del 98,75% al día 7 de pesaje, los resultados fueron consistentes ya que Rosales (2016, p.35) argumenta que, cuando la biopelícula está en agua, se degrada con facilidad, ya que las propiedades mecánicas de este bioplástico son muy débiles en presencia de agua.

4.4.4. Tiempo de estimado de biodegradación

Tabla 43-4: Tiempo estimado de biodegradabilidad total del bioplástico

Tratamiento	Aire	Suelo	Agua
T1	48	55	26
T2	93	57	15
T3	88	44	7
T4	96	64	19

Realizado por: Martínez, Katerine, 2023.

Al contrastar los días de degradación total de los tratamientos en cada ambiente (tabla 10-4), se evidencia que los films tienen una mayor degradación en agua, en particular en el tratamiento T3, ya que se observó una pérdida superior al 90% en solo 7 días. Sin embargo, se estima que la degradación en el suelo y el aire sea de más del 90% en menos de 100 días, lo que se ajusta a lo estipulado en la Norma Europea 13432, que indica que un material compostable debe degradarse al menos el 90% en 6 meses.

CONCLUSIONES

- De los tratamientos utilizados para extraer el almidón de cáscara de cúrcuma, se encontró que el tratamiento T4 proporcionó el mayor rendimiento con un valor de 9,695%.
- La medición de la composición del almidón arrojó un 10,388% de humedad, 0,135% de cenizas, 19,649% de solubilidad, 6,673 de pH, 7035,567 de viscosidad y 74,33°C de temperatura de gelatinización, 65,13% de amilosa, 34,77% de amilopectina y valores por debajo de 10 UFC/g de hongos, levaduras y mohos y coliformes totales. Los valores fisicoquímicos y microbiológicos del almidón obtenido se compararon con diversos estándares y estudios similares, lo que permitió determinar que las propiedades del almidón obtenido son las adecuadas.
- Se determinó que en las pruebas químicas de los bioplásticos, los valores entre cada tratamiento no varían significativamente en las propiedades de espesor, longitud, anchura y permeabilidad, pero sí varían en la propiedad de solubilidad, siendo el tratamiento T3 el que tiene el porcentaje más alto de 46,36%; por otro lado, tanto el tratamiento T2 como el T4, con valores de humedad de 16,33% y 16,71%, respectivamente, se diferencian significativamente de los tratamientos T1 y T3. Durante las pruebas mecánicas se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos excepto en la prueba de carga máxima. En esta prueba, se encontró que los tratamientos T1 y T2 con resultados de 1,88 N y 0,97 N, respectivamente, eran estadísticamente diferentes de los tratamientos T3 y T4.
- Con relación a los ensayos de biodegradabilidad, se concluyó que las películas se descomponen mayormente en el agua, además se observó que el tratamiento más eficaz fue el T3 para los medios acuáticos y de tierra, en tanto que para el aire fue el T1.

RECOMENDACIONES

- Para incrementar la fortaleza y la resistencia de la biopelícula, es recomendable modificar las proporciones de ácido acético, glicerol y agua.
- Es aconsejable examinar el plástico como una posible cubierta para alimentos.
- El plastificante más popular es la glicerina, pero se recomienda probar con otros plastificantes, como los aceites epoxidados, para ver si se pueden cambiar las propiedades del plástico.
- A pesar de que el almidón no presenta coliformes totales, fecales, hongos ni levaduras, es necesario realizar un estudio de las bacterias que se encuentran en las biopelículas.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, R.; & VASENA, M. Cúrcuma fresca: composición química-nutricional, utilización en producto de panificación y valoración sensorial [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Médicas. 2020. pp. 1-73. [Consulta: 10 febrero 2022]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/18668/tesis%20completa%201462.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ADEL, S; & EBRAHIM, A. "Production and evaluation of novel functional extruded corn snacks fortified with ginger, bay leaves and turmeric powder". *Amer and Rizk Food Production, Processing and Nutrition*, Vol. 4, n°4 (2022). pp. 2.17.

ANIM, J. "The effect of using acidified turmeric on some productive parameters and intestinal bacterial counts in broilers at high stocking density pens". *Journal of Advanced Veterinary Animal Research*. Vol. 9, n°1 (2022), pp. 87-94.

BERGER, PAUL D.; et al. *Experimental Design. With Applications in Management, Engineering, and the Sciences*. Second edition. Cham: Springer. 2018.

BLÁNDON, S; & PONCE, C. "Extracción de oleoresina de cúrcuma (*Curcuma longa*) utilizando etanol como solvente". *Revista de Ciencias y Tecnología*. Vol. 11, n° 02 (2021), pp. 48-58.

CASTILLO, R.; et al. "Bioplástico a base de la cáscara del plátano". *Revista de Iniciación Científica* [En línea], 2015, 1(1). pp. 34-37. [Consulta: 10 febrero 2022]. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/339>

CORREA, D. Evaluación de la capacidad antioxidante de extractos acuosos de cúrcuma (*Longa Linn*), aplicados en la elaboración de salsa de tomate, Machala 2014. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala. Machala- Ecuador. 2015. pp. 1-89.

CUENCA, R. Identificación de las variables de proceso para la síntesis de plástico biodegradable del almidón del arroz de cebada (*Hordeum vulgare*) para el uso en el embalaje de alimentos. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-112

DE RAMOS, J.; et al. “Determination of the Physical and Mechanical Properties of Turmeric (*Curcuma longa L.*)”. Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering [En línea]. 2021, 17(1), pp. 27-37. [Consulta: 22 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.48196/017.01.2021.03>

ESCOBAR, D.; et al. “Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador”. INNOTEC [En línea], 2009, 4(1), pp. 33-36. [Consulta: 15 febrero 2022]. ISSN 1510-6593. Disponible en: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1442.

ESPARZA, I. Cúrcuma (*Curcuma Longa*): una revisión bibliográfica del procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Chile. 2021. pp. 1-120.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Bioplásticos. *EUB*[En línea]. 2020. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>

FAO. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación . 2007. pp. 2-153. ISBN 978-92-5-305677-4.

GANOA, T. Valoración de los residuos de *Ipomea Batatas* (camote) para la elaboración de material plástico biodegradable. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-100.

GARCÍA QUIÑÓNEZ, A. V. Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Especializada En Ingeniería ITCA – FEPADE. 2015. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>

GARCÍA, E. Extractos hidroalcohólicos de *Curcuma longa L.* (cúrcuma) de tres regiones del Ecuador y su posible uso como antioxidante [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 2019. pp. 1-123. [Consulta: 22 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18822>

GUAMÁN BRAVO, J. M. Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 1-88. [Consulta: 20 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

GUAMÁN, J. Obtención de bioplásticos a partir del almidón de triticale y de cascarilla de arroz para su aplicación como empaque de alimentos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-116 [Consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17385>

HERNÁNDEZ, R.; et al. *Metodología de la investigación* [En línea]. S.l.: s.n. 2014. ISBN 9789896540821.

MAE. *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* [En línea]. 2020. [Consulta: 20 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

MÉNDEZ, Á. Glicerol. *La Guía de Química* [En línea]. 2010. [Consulta: 24 febrero 2022]. Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/glicerol>.

MIRANDA VILLA, Patricia P.; et al. “Caracterización Funcional del Almidón de Fríjol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus* L.) y cuantificación de su Almidón Resistente”. *Starch. Technol.* [En línea]. 2013, 1(1). pp.17-32. ISSN 0123-7799. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100002&lng=en&nrm=iso

MORA, J. Elaboración de chifles de plátano verde (musa paradisiaca) enriquecidos con polvo de cúrcuma (*Curcuma longa*) como ingrediente antioxidante. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil-Ecuador. 2020. pp. 1-118.

NAKKALA, K. “Aislamiento de almidón de *Cúrcuma Longa L.* y su caracterización”. *Revista Internacional de Ciencias e Investigación Farmacéuticas*. 2020, 11(11). pp. 5712-5717. E-ISSN: 0975-8232.

NIVELLO, B. Obtención de un plástico biodegradable a partir del almidón de jengibre (*Zingiber Officinale*) para su uso en el embalaje de alimentos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-87. [Consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16764/1/96T00684.pdf>

NTE INEN 1456:1986. REACTIVOS PARA ANÁLISIS ALMIDÓN SOLUBLE (PARA IODOMETRIA)

NTE INEN 2635:2012. MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.

NTE INEN 2643:2012. ESPECIFICACIÓN PARA PLÁSTICOS COMPOSTABLES.

OCHOA, J.; et al. Bioplásticos. *Bioplásticos January*. [En línea]. 2020 1(1). pp. 5-123. [Consulta: 20 febrero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257652567_PLASTICO_DEGRADABLES

OLADIMEJI, O; et al. “Functional properties of turmeric (*Curcuma longa*) powder and physical properties of turmeric rhizomes grown in Ekiti State, Nigeria”. *Research Journal of Food Science and Nutrition*. Vol. 4, n°(1) (2019). pp. 32-36.

PAREDES, K. Elaboración y caracterización de una biopelícula biodegradable a partir del chayote (*Sechium Edule*) para el uso en alimentos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-87. [Consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17690/1/96T00773.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 de petróleo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 22 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13808>.

PHILCO, M. Determinación de parámetros óptimos de obtención de palillo (*Curcuma longa* Linneo) en polvo en la provincia de San Martín [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. Perú. 2017. pp. 1-119. [Consulta: 22 noviembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/2524>

REYES, L.; et al. “Obtención, separación y purificación de almidón a partir de *Colocasia esculenta* para su uso como excipiente en formas farmacéuticas”. *TEQUIO*. Vol.2, n°6 (2019). pp. 36-44.

RIERA, M. A.; & PALMA, R. R. “Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador”. *Avances En Química*. 2018. 13(3), pp. 69–78.

SALOMÓN. “Cúrcuma”. Registro sanitario N°24.00307/MU. 2020. pp.1-3.

TEJAVATI, D.; et al. “Propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido a partir de cúrcuma karnatakensis - Una nueva fuente botánica de alto contenido de amilosa”. *HELIYON*. Vol. 6, n°1 (2020), pp. 1-8-

YAUTIBUG, M. Elaboración y caracterización de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (*Manihot Esculenta*) para la envoltura de alimentos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-87. [Consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15446/1/156T0044.pdf>



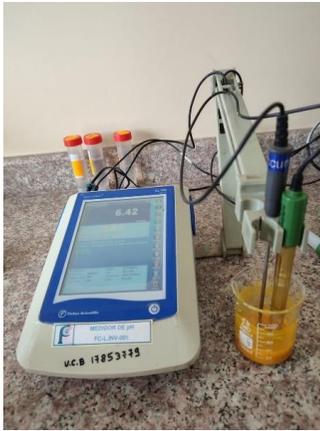
0749-DBRA-UTP-2023

ANEXOS

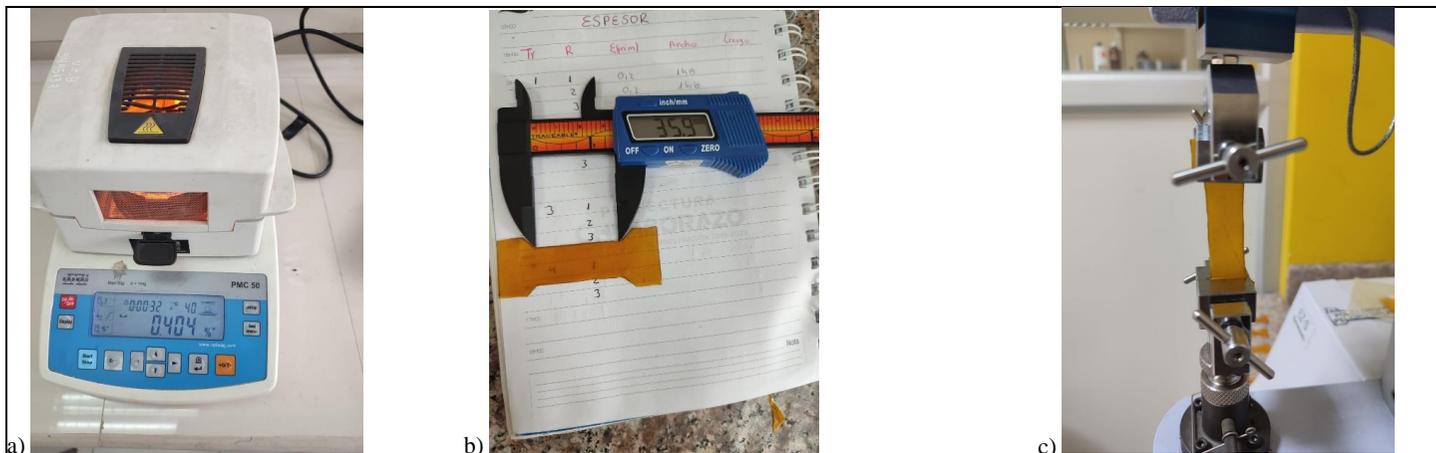
ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE CÚRCUMA

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>			
<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Martínez Katerine</p>	<p>EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN</p>		
<p>a) Lavado de la materia prima b) Peso de la materia prima c) Obtención del almidón</p>			<p>LÁM:</p> <p>1</p>	<p>ESC:</p> <p>1:10</p>	<p>FECHA:</p> <p>27-02-2023</p>

ANEXO B: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS DEL ALMIDÓN

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>	NOTAS:		
<p>a) pH del almidón b) Temperatura de gelatinización c) Medición de la viscosidad de Brookfield</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Martínez Katerine</p>	PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS DEL ALMIDÓN		
			LÁM:	ESC:	FECHA:
			1	1:10	27-02-2023

ANEXO C: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p> <p>INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Martínez Katerine</p>	<p>PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO</p>		
<p>a) Humedad de la biopelícula</p> <p>b) Espesor de la biopelícula</p> <p>c) Prueba de tracción</p>			<p>LÁM:</p> <p>1</p>	<p>ESC:</p> <p>1:10</p>	<p>FECHA:</p> <p>27-02-2023</p>

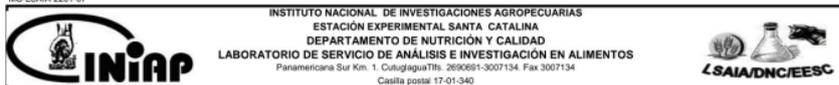
ANEXO D: PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	<p>DEGRADABILIDAD DEL BIOPLÁSTICO</p>		
<p>a) Biodegradabilidad en aire a los 35 días</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p>		<p>LÁM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
<p>b) Biodegradabilidad en suelo a los 35 días</p>	<p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p>		<p>1</p>	<p>1:10</p>	<p>27-02-2023</p>
<p>c) Biodegradabilidad en agua a los 7 días</p>	<p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ELABORADO POR:</p>			
		<p>Martínez Katerine</p>			

ANEXO E: ANÁLISIS DE AMILOSA

MC-LSAIA-2201-07



INFORME DE ENSAYO No: 23-022

****NOMBRE PETICIONARIO:** Srta. Yajaira Katherine Martínez
****DIRECCIÓN:** Riobamba Ciudadela Primavera
FECHA DE EMISIÓN: 22/02/2023
FECHA DE ANÁLISIS: Del 09 al 22 de febrero del 2023

****INSTITUCIÓN:** Particular
****ATENCIÓN:** Srta. Yajaira Katherine Martínez
FECHA DE RECEPCIÓN: 09/02/2023
HORA DE RECEPCIÓN: 14h45
ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ²	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
23-0204	8,67	65,13	Almidón de Cúrcuma

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

Quím. Verónica Arias
RESPONSABLE TÉCNICO

Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

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

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

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este Informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibida. 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, está 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: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS



INFORME DE ANÁLISIS

CLIENTE: Señorita Katerine Martínez
UBICACION: Rocabamba
TIPO DE MUESTRA: Materia prima Cúrcuma Cúrcuma longa
FECHA DE ENTREGA: 17 de enero del 2023

Examen Físico

COLOR: amarillo a naranja intenso
OLOR: fuerte característico
ASPECTO: muestra granular, fino, con pequeños puntos negros

Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	Valores de referencia	Resultados
Proteína	%	-	12.1
Fibra	%	-	20.31
Coliformes Totales	UFC/g	-	< 10
Mohos y Levaduras	UFC/g	5 x 10 ³	< 10

Observaciones:

Atentamente,



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

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid 9



INFORME DE ANÁLISIS

CLIENTE: Señora Katherine Martínez
UBICACION: Riwamba
TIPO DE MUESTRA: Almidón de Cúrcuma <i>Cúrcuma longa</i>
FECHA DE ENTREGA: 17 de enero del 2023

Examen Físico

COLOR: amarillo a naranja intenso
OLOR: fuerte característico
ASPECTO: muestra granular, fino, con pequeños puntos negros

Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g		< 10
Mohos y Levaduras	UFC/g	5 x 10 ⁵	< 10

Observaciones:

Atentamente:



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



esPOCH

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: 22 / 05 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Yajaira Katerine Martinez Bravo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias Químicas
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo, MSc.



0749-DBRA-UTP-2023