



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO EN EL
MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
BIOPLÁSTICO OBTENIDO DE JENGIBRE (*Zingiber officinale*)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MILENA VALERIA CAICEDO DUARTE

DIRECTOR: ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, Milena Valeria Caicedo Duarte

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, MILENA VALERIA CAICEDO DUARTE declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 30 de mayo de 2022



Milena Valeria Caicedo Duarte

1600890071

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO OBTENIDO DE JENGIBRE (*Zingiber officinale*)**, realizado por la señorita **MILENA VALERIA CAICEDO DUARTE**, 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. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**ADRIAN ALEJANDRO
RODRIGUEZ PINOS**

2022-05-30

Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD.
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2022-05-30

Ing. Gabriela Viviana Tubón Usca PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**GABRIELA
VIVIANA TUBON
USCA**

2022-05-30

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios por darme guía y fortaleza en el transcurso de mi vida para poder salir adelante con cada reto que me he propuesto. A mis amados padres César Caicedo y Fátima Duarte porque me han enseñado grandes valores que me han convertido en la mujer de bien que hoy en día soy, además de demostrarme que con esfuerzo y dedicación puedo llegar a cumplir mis sueños. A mi hermano Bruce, que con su cariño y comprensión me ha motivado para trabajar en ser un ejemplo que seguir para él. A mi enamorado, que con su amor incondicional me ha sacado una sonrisa en mis momentos más difíciles y ha sido mi gran apoyo en este proceso y, a mis amigos que han hecho de esta experiencia algo muy especial y memorable.

Milena

AGRADECIMIENTOS

A Dios por prestarme salud y sabiduría para enfrentar este gran reto. A mi familia, por creer en mi capacidad, darme ánimos, aconsejarme, apoyarme económica y emocionalmente en cada paso que he dado en mi vida. A mi pareja por motivarme diariamente a nunca darme por vencida y ayudarme a levantar de cada caída.

A mi director de tesis, Ing. Hannibal Brito y a mi colaboradora Ing. Gabriela Tubón por haberme entregado parte de su valioso tiempo para el desarrollo del presente trabajo mediante sus asesorías y recomendaciones.

A los docentes y técnicos de laboratorio que han compartido sus conocimientos y experiencias para forjar de mí un gran profesional en la capacidad de servir a la sociedad y el país.

Al Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Espoch (GIADDE) por su apoyo en el desenvolvimiento de mi trabajo de integración curricular.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería Química, por brindarme una educación de excelencia impartida por grandes docentes comprometidos con su labor.

Milena

TABLA DE CONTENIDOS

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

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes de la investigación.....	2
1.2. Marco conceptual o glosario	3
1.2.1. Plásticos	3
1.2.1.1. Sintéticos	3
1.2.1.2. Naturales	3
1.2.1.3. Elementos para su elaboración	5
1.2.1.4. Caracterización del plástico biodegradable.....	5
1.2.2. Productos agrícolas de Ecuador.....	6
1.2.2.1. Zonas productivas	6
1.2.2.2. Jengibre.....	6
1.2.2.3. Clasificación taxonómica	7
1.2.2.4. Composición química	7
1.2.2.5. Aplicaciones	8
1.2.2.6. Almidón	8
1.2.2.7. Extracción de almidón.....	9
1.2.2.8. Operaciones unitarias en la extracción de almidón	10
1.2.2.9. Caracterización del almidón	11
1.2.3. Óxido de grafeno	12
1.2.3.1. Método de extracción	13
1.2.3.2. Elementos utilizados en la extracción	14

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	16
2.1.	Objetivos de la investigación	16
2.1.1.	<i>General</i>	16
2.1.2.	<i>Específicos</i>	16
2.2.	Planteamiento de las hipótesis	16
2.2.1.	<i>General</i>	16
2.2.2.	<i>Específicas</i>	16
2.3.	Identificación de variables	17
2.4.	Operacionalización de variables	18
2.5.	Matriz de consistencia	20
2.6.	Tipo y diseño de investigación	22
2.6.1.	<i>Tipo de investigación</i>	22
2.6.2.	<i>Diseño de investigación</i>	22
2.6.3.	<i>Unidad de análisis</i>	22
2.6.4.	<i>Población de estudio</i>	22
2.6.5.	<i>Tamaño de muestra</i>	22
2.6.6.	<i>Selección de muestra</i>	23
2.6.7.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	24
2.6.7.1.	<i>Técnica de extracción del almidón</i>	24
2.6.7.2.	<i>Caracterización fisicoquímica del almidón de jengibre</i>	26
2.6.7.3.	<i>Técnica de obtención del óxido de grafeno</i>	30
2.6.7.4.	<i>Técnica de obtención del bioplástico</i>	33
2.6.7.5.	<i>Caracterización del bioplástico</i>	35

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
3.1.	Datos obtenidos	38
3.1.1.	<i>Almidón</i>	38
3.1.1.1.	<i>Análisis sensorial de la materia prima</i>	38
3.1.1.2.	<i>Método de extracción del almidón por vía húmeda</i>	39
3.1.2.	<i>Óxido de grafeno</i>	40
3.1.2.1.	<i>Sintetización</i>	40
3.1.3.	<i>Bioplásticos</i>	40

3.1.3.1.	<i>Elaboración del blanco</i>	40
3.1.3.2.	<i>Elaboración con óxido de grafeno</i>	40
3.1.3.3.	<i>Ensayo de humedad</i>	41
3.1.3.4.	<i>Ensayo de solubilidad</i>	42
3.1.3.5.	<i>Espesor</i>	43
3.1.3.6.	<i>Ensayo de permeabilidad</i>	44
3.1.3.7.	<i>Prueba de degradabilidad</i>	45
3.2.	Cálculos	47
3.2.1.	Almidón	47
3.2.1.1.	<i>Rendimiento de la extracción por vía húmeda</i>	47
3.2.1.2.	<i>Contenido de cenizas</i>	47
3.2.1.3.	<i>Índice de solubilidad de agua</i>	47
3.2.2.	Óxido de grafeno	48
3.2.2.1.	<i>Rendimiento de la obtención de óxido de grafito</i>	48
3.2.2.2.	<i>Rendimiento de la obtención de óxido de grafeno</i>	48
3.2.3.	Bioplásticos	48
3.2.3.1.	<i>Porcentaje de solubilidad</i>	48
3.2.3.2.	<i>Porcentaje de permeabilidad</i>	49
3.2.3.3.	<i>Porcentaje de degradabilidad</i>	49
3.2.3.4.	<i>Cuadrado del error medio</i>	49
3.2.3.5.	<i>Diferencia honestamente significativa</i>	50
3.3.	Resultados	50
3.3.1.	Almidón	50
3.3.1.1.	<i>Caracterización sensorial de la materia prima</i>	50
3.3.1.2.	<i>Rendimiento de extracción por vía húmeda</i>	50
3.3.1.3.	<i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</i>	51
3.3.2.	Óxido de grafeno	52
3.3.2.1.	<i>Rendimientos de la sintetización</i>	52
3.3.2.2.	<i>Espectro Uv-vis</i>	52
3.3.2.3.	<i>Espectro infrarrojo</i>	53
3.3.3.	Bioplásticos	54
3.3.3.1.	<i>Análisis preliminar</i>	54
3.3.3.2.	<i>Pruebas físicas del plástico</i>	55
3.3.3.3.	<i>Prueba de degradabilidad</i>	56
3.3.3.4.	<i>Proyección del tiempo de biodegradabilidad</i>	57
3.3.3.5.	<i>Ensayos de tracción</i>	57

3.3.3.6. <i>Valoración económica</i>	61
3.4. Prueba de Hipótesis	62
3.4.1. <i>General</i>	62
3.4.2. <i>Específica 1</i>	62
3.4.3. <i>Específica 2</i>	63
3.4.4. <i>Específica 3</i>	63
3.4.5. <i>Específica 4</i>	63
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación taxonómica del jengibre (<i>Zingiber officinale</i>).	7
Tabla 2-1:	Composición química del jengibre.....	8
Tabla 3-1:	Características de los métodos de obtención del óxido de grafeno.....	13
Tabla 1-2:	Identificación de variables.	17
Tabla 2-2:	Operacionalización de variables.....	18
Tabla 3-2:	Matriz de consistencia.....	20
Tabla 5-2:	Técnica de extracción del almidón.....	24
Tabla 6-2:	Caracterización fisicoquímica del almidón de jengibre.....	26
Tabla 7-2:	Técnica de obtención del óxido de grafeno.	30
Tabla 8-2:	Técnica de obtención del bioplástico.	33
Tabla 9-2:	Caracterización del bioplástico.	35
Tabla 1-3:	Caracterización física del jengibre.	38
Tabla 2-3:	Extracción por vía húmeda.	39
Tabla 3-3:	Cantidades obtenidas en la sintetización.	40
Tabla 4-3:	Formulación del blanco.....	40
Tabla 5-3:	Formulación con OG.	41
Tabla 6-3:	Prueba de humedad.....	41
Tabla 7-3:	Prueba de solubilidad.....	42
Tabla 8-3:	Mediciones del espesor.	43
Tabla 9-3:	Prueba de permeabilidad.....	44
Tabla 10-3:	Degradabilidad en agua.....	45
Tabla 11-3:	Degradabilidad en suelo.....	45
Tabla 12-3:	Degradabilidad al ambiente.	46
Tabla 13-3:	Análisis sensorial del jengibre.	50
Tabla 14-3:	Extracción por vía húmeda	50
Tabla 15-3:	Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas del jengibre.....	51
Tabla 16-3:	Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas del almidón.....	51
Tabla 17-3:	Obtención del compuesto.....	52
Tabla 18-3:	Evaluación preliminar blanco.	54
Tabla 19-3:	Evaluación preliminar del bioplástico con OG.....	54
Tabla 20-3:	Ensayos físicos del bioplástico.....	55
Tabla 21-3:	Ensayo de biodegradabilidad.	56
Tabla 22-3:	Tiempo estimado de degradabilidad en diferentes medios.	57

Tabla 23-3:	Pruebas mecánicas del blanco.....	57
Tabla 24-3:	Módulo elástico.....	57
Tabla 25-3:	ANOVA del módulo elástico.....	58
Tabla 26-3:	Máxima carga.....	58
Tabla 27-3:	ANOVA de la máxima carga.....	58
Tabla 28-3:	Máximo desplazamiento.....	58
Tabla 29-3:	ANOVA del máximo desplazamiento.....	58
Tabla 30-3:	Máximo desplazamiento análisis tukey.....	59
Tabla 31-3:	Máximo esfuerzo.....	59
Tabla 32-3:	ANOVA del máximo esfuerzo.....	59
Tabla 33-3:	Máxima deformación.....	59
Tabla 34-3:	ANOVA de la máxima deformación.....	59
Tabla 35-3:	Máxima deformación análisis tukey.....	60
Tabla 36-3:	Máxima carga de rotura.....	60
Tabla 37-4:	ANOVA de la máxima carga de rotura.....	60
Tabla 39-3:	Insumos de la producción de almidón.....	61
Tabla 40-3:	Insumos de la producción de óxido de grafeno seco.....	61
Tabla 41-3:	Insumos de la producción de óxido de grafeno en solución.....	61
Tabla 42-3:	Precios por gramo de producto.....	61
Tabla 43-3:	Costos de producción de las láminas de plástico.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Jengibre fresco.	7
Figura 2-1: Estructuras de la amilosa y amilopectina.....	9
Figura 3-1: Síntesis del óxido de grafeno a partir de grafito.	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de flujo de la extracción de almidón de jengibre por vía húmeda..	25
Gráfico 2-2:	Diagrama de flujo de la obtención de óxido de grafeno.....	32
Gráfico 3-2:	Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico.	34
Gráfico 1-3:	Espectro Uv-visible del OG.....	52
Gráfico 2-3:	Espectro IR del grafito.....	53
Gráfico 3-3:	Espectro IR del OG.....	53
Gráfico 4-3:	Biodegradabilidad en diferentes medios.	56
Gráfico 5-3:	Resultados de la clasificación de los ensayos de tracción.	62
Gráfico 6-3:	Tiempo de degradación en diferentes medios.	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Contenido de cenizas.....	26
Ecuación 2-2:	Índice de solubilidad de agua.	27
Ecuación 3-2:	Permeabilidad del plástico.	35
Ecuación 4-2:	Solubilidad del plástico.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE JENGIBRE POR VÍA HÚMEDA.
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA.
- ANEXO C:** SÍNTESIS DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO.
- ANEXO D:** ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO.
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO.
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL BIOPLÁSTICO.
- ANEXO G:** PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO.
- ANEXO H:** PRUEBAS MECÁNICA DEL BLANCO Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.
- ANEXO I:** PORCENTAJE DE AMILOSA.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la incidencia del óxido de grafeno en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido de jengibre (*Zingiber officinale*). En primer lugar, se obtuvo el almidón a través de vía húmeda con el mejor rendimiento expuesto y se caracterizó según lo límites establecidos por la FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), lo que permitió identificar que era apto para la elaboración de plástico biodegradable. Por otro lado, se realizó la síntesis de la obtención de óxido de grafeno con un rendimiento de 74,831%. Se utilizó un diseño factorial totalmente al azar para identificar la cantidad óptima de adición del compuesto en la composición de la lámina de plástico, donde se obtuvo una evaluación de un total de seis tratamientos. Para valorar el producto obtenido se realizaron pruebas físicas y mecánicas, en donde el espesor fue menor a 0,15 mm, el máximo desplazamiento de 4,901 mm y la máxima deformación de 12,253% correspondientes al tratamiento cuatro. Finalmente, los ensayos de degradabilidad se llevaron a cabo en tres diferentes medios que fueron: agua, suelo y ambiente, en donde la máxima degradación en tierra fue 63,483%, en un tiempo correspondiente a 15 días, que llevan relación con el reglamento de compostaje para plásticos biodegradables que se encuentran dentro del límite establecido, en agua un 47,725% y en ambiente 20,090%, por tanto al realizar un estudio de los resultados obtenidos se evidencia el mejoramiento en las propiedades mecánicas del bioplástico, para su aplicabilidad en diversas industrias. Se recomienda investigar la aplicación de otros aditivos en la elaboración de bioplásticos para mejorar las otras propiedades de tracción.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <JENGIBRE (*Zingiber officinale*)>, <BIOPLÁSTICOS>, <ÓXIDO DE GRAFENO>, <ENSAYOS DE TRACCIÓN>, <BIODEGRADABILIDAD>.



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**



1277-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the research was to evaluate the incidence of graphene oxide in the improvement of the mechanical properties of the bioplastic obtained from ginger (*Zingiber officinale*). First, the starch was obtained through the wet method with the best performance shown and was characterized according to the limits established by the FAO (United Nations Organization for Food and Agriculture), which allowed identifying that it was suitable for the production of biodegradable plastic. On the other hand, the synthesis of obtaining graphene oxide was carried out with a yield of 74,831%. A totally random factorial design was used to identify the optimal amount of addition of the compound in the composition of the plastic sheet, where an evaluation of a total of six treatments was obtained. To assess the product obtained, physical and mechanical tests were carried out, where the thickness was less than 0,15 mm, the maximum displacement of 4,901 mm and the maximum deformation of 12,253% corresponding to treatment four. Finally, the degradability tests were carried out in three different media that were: water, soil and environment, where the maximum degradation on land was 63,483%, in a time biodegradable plastics that are within the established limit, in water 47,725% and in the environment 20,090%, therefore when conducting a study of the results obtained the improvement in the mechanical properties of the bioplastic is evidenced, for its applicability in various industries. It is recommended to investigate the application of the other additives in the production of bioplastics to improve the other tensile properties.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <GINGER (*Zingiber officinale*)>, <BIOPLASTICS>, <GRAPHENE OXIDE>, <TENSION TESTS>, <BIODEGRADABILITY>.



Firmado electrónicamente por:
**NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA**

INTRODUCCIÓN

La contaminación de plástico es considerada un gran desafío ambiental en la actualidad, puesto que afecta a ecosistemas acuáticos y terrestres (Horton, 2022,p.2). Las toneladas de plásticos que se producen al año son producto de los desechos de un solo uso como, por ejemplo: botellas plásticas, bolsas, recipientes para alimentos, guantes, vasos entre otros. Estos residuos permanecen en los vertederos donde son tirados por cientos o miles de años, provocando una gran polución en el terreno donde se encuentran (Shams et al., 2021, p.3).

Las películas plásticas elaboradas a base de petróleo son usadas ampliamente como un material de embalaje de algunos productos, por su baja densidad y costo, sin embargo, lo que se busca es sostenibilidad con el ecosistema, es por ello por lo que la opción viable en la actualidad del mercado es la producción de plásticos biodegradables, ya que estos presentan una tasa de biodegradabilidad mayor sobre los productos derivados de petróleo (Wu et al., 2019, p.4).

Los plásticos biodegradables pueden convertirse por acción microbiana en CO₂, CH₄ y biomasa microbiana, este proceso ocurre en condiciones aerobias como anaerobias, para lo cual se mide la biodegradabilidad cuantificando la cantidad de CO₂ liberado en función del tiempo. Algunos polímeros plásticos biodegradables se combinan con almidón o celulosa, dando esto como resultado la propiedad de “degradable” que a su vez es la combinación con aditivos, pigmentos colorantes y plastificantes (Flury & Narayan, 2021, p.3).

Entre los polímeros más usados para producir películas biodegradables se encuentra el almidón, debido a su bajo costo, elevada disponibilidad y biodegradabilidad, sin embargo, por sus deficiencias se ve en la obligación de ser combinado con otros polímeros para poder mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico (Vargas et al., 2016, p.3). Además, se encuentra el uso del óxido de grafeno que contiene grandes cantidades de grupos hidroxilo, epoxi, carbonilo y carboxilo que lo permiten trabajar con moléculas orgánicas polares y polímeros mejorando de igual manera sus propiedades mecánicas y biodegradables (Marvdashti et al., 2017, pp.1-3).

Por todo lo expuesto anteriormente, la propuesta de este Trabajo de Integración Curricular es elaborar un plástico biodegradable a partir de jengibre utilizando óxido de grafeno en su estructura para obtener mayor rigidez y que pueda ser utilizado en diversos ámbitos de aplicabilidad. Además, se busca sustituir el uso de materiales derivados de petróleo, para poder disminuir el impacto de la huella de carbono en el ambiente.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

El origen del plástico se remonta en un laboratorio en la ciudad de Yonkers, New York en el año de 1907 por Leo Baekeland, quien lo sintetizó mediante una reacción entre formaldehído y fenol. La ventaja de este descubrimiento es que era un material que podía ser moldeable y era un gran aislante térmico, característica que lo hacía resistente al calor y abrió su camino en el comercio mundial hasta la actualidad (Cyrus, 2019, pp. 1-2).

La problemática en la actualidad se debe a la acumulación de los desechos plásticos ya que este es considerado un desafío ambiental puesto que amenaza la estabilidad de los ecosistemas. Según (Kehinde et al., 2020, pp. 2-3), cerca del 10% en peso de los residuos municipales corresponden a plásticos, que afectan alrededor del 90 % de los tres ríos más poblados del mundo, generando una muerte del 20-30% de la vida acuática, así que según estadísticas el plástico en unos años acabarían con la vida terrestre y marina, para lo cual se deben adoptar medidas que sean viablemente ambientales.

Las limitantes del plástico convencional antes mencionadas han llevado a optar por la elaboración de bioplásticos que funcionan de manera similar, pero son ambientalmente sostenibles y poseen la característica de biodegradable. El uso del almidón en el biopolímero biodegradable lo ha convertido en una opción económicamente accesible, renovable y de fácil modificación ya que es obtenido de recursos vegetales. Además, el almidón permite conformar un material termoplástico adecuado que es fácil de procesar en la forma utilizable que se requiera, sea para el uso de materiales de embalaje, producir utensilios como tazas, cuencos, entre otros (Atiwesh et al., 2021, pp. 2-4).

En la industria ecuatoriana de plásticos no existe como tal una fuente que compita en precios, batallas publicitarias, ni lanzamientos constantes de productos con la elaboración de plásticos biodegradables, por lo cual su negociación es baja, pues en el mercado SigmaPlast ocupa el 4,78 %, Plásticos del litoral el 3,78 % y Flexiplast el 4,94 %, mismas empresas que se encuentran dentro del top 10 de productores e importadores de plásticos y bioplásticos (Ponce & Zambrano, 2019, p.19).

En la ciudad de Riobamba dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se ha realizado la elaboración de varios plásticos biodegradables provenientes de almidón de yuca, papa, quinua, maíz, entre otros. En la investigación de (Brito & Chuiza, 2020, pp.6-12), mencionan la elaboración de láminas biodegradables a partir de Arracacia xanthorrhiza que presenta un esfuerzo máximo de 0,66 MPa y un módulo de elasticidad de 5,28 MPa, lo que genera que el

rendimiento del almidón obtenido para su elaboración sea 10,6% y demostrando que este producto contiene bastante almidón. Por otro lado, el bioplástico obtenido de jengibre por (Nivelo, 2021, pp.27-52), revela las siguientes características en pruebas físicas como espesor menor a 0,12 mm, una humedad aproximada de 40 %, permeabilidad de 0.0060 g*mm/h*MPa, valores que se encuentran dentro de los parámetros registrados en la norma INEN 2542:2010 para el embalaje de alimentos. Además, en los ensayos de tracción se obtiene un valor de elasticidad de 5,845 Mpa y un esfuerzo máximo de 4,449 MPa.

En la investigación realizada por (Vasseghian et al., 2022, p. 2), presenta al grafeno como un material de alta resistencia mecánica, evaluada alrededor de 130 GPa y que tiene un grosor de 0,35 nm con una transparencia de 97,7%, lo que lo hace un material que, comparado con los polímeros obtenidos de manera común, permite mejorar las propiedades mecánicas de muchos materiales al ser añadido en su estructura, y que consecuentemente ayudará en la disminución del tiempo de biodegradabilidad.

1.2. Marco conceptual o glosario

1.2.1. Plásticos

Estos son sustancias conformadas por macromoléculas muy parecidas a las resinas naturales, pues son obtenidos mediante una síntesis de polimerización que es un proceso fisicoquímico donde los monómeros se sueldan entre sí, dando como resultado una cadena de átomos o a través de condensación. Toman forma mediante el uso de calor y presión consiguiendo así una resistencia elevada y generalmente los plásticos son fabricados de materias vegetales o minerales (Charro, 2015, pp. 15-17).

1.2.1.1. Sintéticos

Estos polímeros son de elaboración humana a partir de derivados del petróleo, como el polietileno y el nylon. Son obtenidos mediante reacciones químicas de entre 2 o más elementos que al pasar por varias transformaciones se convierten en resinas sintéticas, por ejemplo: poliaminas, poliestirenos, poliuretano, poliéster, entre otras (Llacsá, 2021, p. 6).

1.2.1.2. Naturales

Corresponden a los polímeros que han sido obtenidos de materiales de la naturaleza y que requieren de una transformación química para poder modificar sus componentes y darles la característica

plástica deseada. Entre los más comunes están: celulosa metálica, acetato de celulosa, caucho, almidón, etc (Llacsá, 2021, p. 6).

Estos han sido creados para solventar la demanda de los plásticos sintéticos a base de polímeros, pues son obtenidos a partir de fuentes naturales y son biodegradables. Su costo de elaboración es bastante bajo a comparación de los plásticos convencionales, además de que son de fácil disponibilidad puesto que se elaboran a partir de almidón de varias fuentes como: maíz, yuca, papa, entre otras. Lo que actúa en la elaboración del bioplástico haciendo uso de este recurso, es la amilosa y la amilopectina, lo que hace que el almidón se comporte como un biopolímero semicristalino, con gran conductividad térmica y al gelatinizarse en mezcla con los otros componentes forma la película biodegradable (Behera et al., 2021, pp.3-4).

– *Biobasados*

Son los elaborados a partir de biomasa que pueden ser: materia orgánica de origen animal o vegetal y de recursos renovables. Pueden ser producidos desde los residuos, pero necesitan un previo procesamiento químico para ser utilizados. La extracción de los monómeros que se generan al interior de las células de plantas y organismos permiten producir polihidroxialcanoatos, ácido poliláctico, polipropileno, entre otros. El término biobasado no está implícito en ser biodegradable, esto depende directamente de la estructura química del plástico y no de sus condiciones de procesamiento. Entre los plásticos biobasados están: Bio-PE, Bio-PET, Bio-PA y Bio-PTT (Vázquez et al., 2016, pp. 3-6).

– *Biodegradables*

Pueden ser fabricados a partir de recursos renovables o combustibles fósiles, puesto que la biodegradabilidad es una característica de la estructura química de la lámina del plástico. Para que ocurra la degradabilidad debe existir presencia de microorganismos que la propicien y determinadas condiciones ambientales, dando como resultado que fácilmente puedan convertirse en abono orgánico beneficioso para el suelo. La característica mencionada ocurre al estar en contacto con radiaciones UV, temperatura, fricción, humedad, entre otros. Los más comunes son: PBAT, PCL, sin embargo, no todos los pertenecientes a este grupo están elaborados 100% de materias primas renovables (Vázquez et al., 2016, pp. 3-6).

1.2.1.3. Elementos para su elaboración

– Agua destilada

Es el agua que está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, la cual previamente ha pasado por un proceso de deionización que ha eliminado las impurezas y separado las sales disueltas que se encontraban en esta (Romero, 2011).

– Plastificante

Es un compuesto orgánico sintético que al ser añadido a un material plástico permite aumentar su flexibilidad comprimiendo sus fuerzas intermoleculares. Además, disminuye la viscosidad y el módulo elástico del fundido (Ruiz, 2020).

– Agente antimicrobiano

Es un compuesto químico que cumple la función de inhibir el crecimiento de microbios en el bioplástico que se usa como recubrimiento de productos alimenticios y permite su conservación (Rodríguez, 2011, p. 14).

1.2.1.4. Caracterización del plástico biodegradable

– Solubilidad

Corresponde a la característica que tiene algún material para disolverse al entrar en contacto con el agua. También es denominada la mayor cantidad de soluto capaz de disolverse en 100 g de soluto a una determinada temperatura (López, 2015).

– Espesor

Es el parámetro que determina las propiedades de una capa delgada del mismo. Es uno de los parámetros más importantes en la caracterización del bioplástico puesto que se encuentra por debajo de los 100 nm (Oliva et al., 2010, p. 3).

– *Propiedades mecánicas*

Son aquellas que determinan el comportamiento de un material al enfrentarse a un esfuerzo mecánico, conocido como un ensayo de tracción. Entre las principales se encuentran: elasticidad, tenacidad, plasticidad, ductilidad, fragilidad y para medirlas se utiliza un aparato que somete a un esfuerzo axial al bioplástico (Bermejo, 2016).

– *Biodegradabilidad*

Corresponde a la descomposición de un material sea de forma aerobia o anaerobia, debido al desarrollo de la acción enzimática provocada por un microorganismo bajo condiciones ambientales normales (Ruiz et al., 2013, p.2).

1.2.2. *Productos agrícolas de Ecuador*

1.2.2.1. Zonas productivas

Ecuador es un país que posee una gran producción de productos agrícolas como tubérculos, que representan una cantidad considerable de la economía del país. De igual manera se ha visto su crecimiento en el proceso de producción, comercialización y exportación en el mercado nacional e internacional. El jengibre es cultivado en zonas subtropicales de nuestro país como Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Los Ríos, Guayas, Napo y Morona Santiago. Su incremento se ve reflejado por la alta demanda de uso en consumo de comidas orientales, que lleva a que seamos un país exportador de este tubérculo en cantidades considerables (Oscullo, 2011, pp.6-21).

Este producto es codiciado en países del continente europeo y Norte América, de manera fresca o procesada, debido a esta demanda Ecuador se ha convertido en un flujo de exportación de este, registrando según datos del Banco Central 569,87 Toneladas a diferentes lugares como: Estados Unidos, Antillas Holandesas, Francia y otros lugares (Oscullo, 2011, pp.6-21).

1.2.2.2. Jengibre

Es una planta perteneciente a la familia de las zingiberáceas, perenne, rizomatosa con tallos simples, rizoma grueso y carnoso que posee un sabor picante, ardiente e intensamente aromático (Salgado, 2017, pp. 1-6). Su origen radica en el sudeste asiático cultivado hace 3,000 años, cuyo nombre en ese entonces era “sringavera” y su primer expositor fue Confucio quien lo relaciona con una especie preferida de la época usada después de la pimienta. La parte más utilizada es el

rizoma, cuyas hojas brotan entre 6-10 cm de longitud y 2 cm de ancho y en Ecuador se cultiva en varias zonas como Esmeraldas, Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, etc (Esteve, 2021, pp. 1-3).



Figura 1-1: Jengibre fresco.

Fuente: (Secretaría de Agroindustria, 2017).

1.2.2.3. Clasificación taxonómica

Tabla 1-1: Clasificación taxonómica del jengibre (*Zingiber officinale*).

Nº	Característica	Identificación
1	Reino	Plantae
2	División	Magnoliophyta
3	Clase	Liliopsia
4	Orden	Zingiberales
5	Familia	Zingiberaceae
6	Género	Zingiber
7	Especie	Z. officinale

Fuente: (Flores & Patiño, 2016, p.20).

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

1.2.2.4. Composición química

Según el análisis que presenta (Rosella et al., 1996, p.4) en su investigación menciona que las características químicas del jengibre varían demasiado por el tipo y calidad de este, sin embargo, elaboró el siguiente promedio:

Tabla 2-1: Composición química del jengibre.

N°	Característica	Porcentaje
1	Agua	10,0%
2	Sustancias nitrogenadas (Proteínas)	7,5%
3	Lípidos	3,5%
4	Esencia	2,0%
5	Almidón	54,0%
6	Celulosa	4,5%
7	Sustancias extractivas no nitrogenadas	13,0%
8	Cenizas	5,5%

Fuente: (Rosella et al., 1996, p. 4).

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

1.2.2.5. Aplicaciones

El jengibre es ampliamente usado en el campo de la medicina debido a su importante valor nutricional, puesto que contiene aceites esenciales entre un 2,5-3% y sustancias picantes no volátiles. Es usado en la fitoterapia occidental para aplicaciones como trastornos dispépticos y prevención de los síntomas del mareo cinético, entre otros. De igual forma es aprovechado porque es una excelente fuente de potasio, vitamina C, magnesio, cobre, zinc y manganeso (Salgado, 2017, pp. 1-6).

1.2.2.6. Almidón

Es considerada una materia prima que está caracterizada funcional y fisicoquímicamente por su estructura granular y molecular. El polisacárido más usado como ingrediente funcional en la industria alimenticia y sirve para la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Agama et al., 2016, pp. 2-3). Su cristalinidad va desde 15 a 45 % y se halla en cadenas cortas lineales, formando dobles hélices de una estructura tridimensional. Se encuentra conformado principalmente por dos polímeros: amilosa por enlaces α (1-4) o α (1-6) y amilopectina, las cuales se organizan en forma de anillos concéntricos, lo que da origen a su estructura granular (Hernández et al., 2008, p. 2).

– Estructura

El almidón consiste en una mezcla de glucanos, en los que cada partícula soluble contiene amilosa y amilopectina, hallado en el interior de las células vegetales. La amilosa, es un polímero lineal, mientras que la amilopectina uno ramificado (Hurtado, 2019, pp. 19-21).

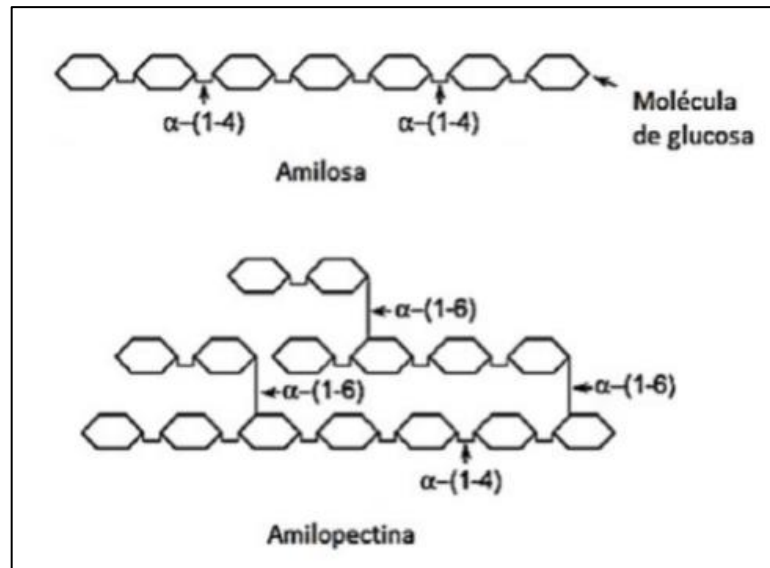


Figura 2-1: Estructuras de la amilosa y amilopectina.

Fuente: (Hurtado, 2019, pp. 19-21).

– *Propiedades*

Este presente propiedades funcionales como su viscosidad que lo permite ser estable en suspensiones a temperaturas elevadas y valores bajos de pH. Es por esto por lo que, son usados generalmente para la fabricación de productos como sopas y pudines ya que estos requieren una estabilidad al estar en contacto con el calentamiento (Delahaye & Techeira, 2009, pp.1-2). Entre las propiedades térmicas de los almidones que se pueden destacar están: gelatinización, retrogradación, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Hurtado, 2019, pp. 19-21).

1.2.2.7. *Extracción de almidón*

– *Extracción por vía seca*

Este es un método que consiste en rayar los tubérculos para liberar su almidón, posteriormente se procede a pre-deshidratar a una temperatura de 45 °C aproximadamente que eliminará el 45% de humedad de la materia prima. El producto obtenido es llevado a molienda para así separar más las moléculas de almidón y se vuelve a secar a una temperatura de 60 °C para finalmente ser deshidratado, molido y tamizado. Este método es considerado una alternativa para la reducción de contaminación ambiental, ya que su proceso no involucra grandes cantidades de agua desperdiciadas (Parra, 2019, pp. 24-25).

– *Extracción por vía húmeda*

Este método consiste en lavar, pelar y trocear el tubérculo, posteriormente se tritura con la ayuda de cualquier motor que sea de conocida revolución en relación 500 g de materia prima por cada litro de agua. Después, se procede a decantar por un lapso de 8 horas, se retira el sobrenadante y se seca a 60 °C, para finalmente ser molido y tamizado. Este procedimiento requiere una excesiva cantidad de agua lo que lo convierte en un contaminante para el medio ambiente (Parra, 2019, pp. 24-25).

– *Extracción del jengibre*

La extracción del jengibre al ser un tubérculo se realiza con mayor facilidad por vía húmeda, pues es mejor ser triturado, para así tener el máximo aprovechamiento del almidón que este posee. Se tritura en la relación 500 g de materia prima por cada litro de agua y se deja sedimentar por unas 6 horas hasta que permita retirar el sobrenadante con facilidad. Finalmente, se procede a secar en una estufa a una temperatura de 50 °C durante un lapso de 24 horas, después de ello pasa al proceso de molienda y tamizado, para su respectiva caracterización.

1.2.2.8. Operaciones unitarias en la extracción de almidón

– *Lavado y pelado*

Este procedimiento consiste en la eliminación de contaminantes externos que contiene la materia prima, para poder evitar futuras complicaciones por contaminación en la obtención del almidón. Para esto el agua debe ser limpia y potable ya que ésta contiene algún tipo de desinfectante. El pelado consiste en eliminar la piel del fruto con ayuda de un pelador porque esto influirá en la elaboración del plástico biodegradable (Cuadrado, 2019, pp. 20-21).

– *Trituración*

Esta operación unitaria consiste en rebanar la materia prima en trozos más pequeños para que se pueda realizar el proceso de extracción sólido-líquido, que se basa en triturar la pulpa con agua con ayuda de un molino o trituradora (Guadrón, 2013, p. 80).

– *Filtración*

Corresponde la operación unitaria que separa los sólidos que se encuentran suspendidos en un líquido, generalmente se trata de partículas de gran tamaño. Por otro lado, la centrifugación se usa para separar sólidos de menor tamaño a haciendo uso de una superficie permeable. El resultado será una capa llamada “torta” de las partículas sólidas que se quedará retenida en el elemento filtrante y la solución líquida sobrante (Brito, 2001, p.25).

– *Sedimentación y decantación*

En esta operación unitaria se deja que por efecto de la gravedad las partículas suspendidas en una suspensión diluida se depositen en el fondo, separando así la parte sólida de la líquida (Cuadrado, 2019, pp. 20-21).

– *Secado*

Es la operación unitaria que separa totalmente la parte líquida que puede contener un sólido, se realiza por convección de un fluido caliente, en este caso aire que atraviesa el producto del cual se desea extraer su humedad. El secado tiene como fundamento la transferencia de calor y de masa, además existen varios tipos de secado como, por ejemplo: por radiación, conducción, liofilización, dieléctrico, ultrasónico, etc. Es la operación unitaria más usada en la industria alimenticia para la conservación de alimentos (Brito, 2017, p. 17).

1.2.2.9. Caracterización del almidón

– *Solubilidad*

Para determinar este parámetro se utiliza una técnica que consiste en calentar la suspensión acuosa que contiene almidón, lo que provoca que se hinchen los gránulos por efecto de la absorción de una forma progresiva e irreversible incrementando su tamaño. Este método aprovecha la capacidad de absorción que puede tener el gránulo de almidón y su comportamiento frente al incremento de temperatura (Torres et al., 2013, p. 4).

– *Ceniza*

Es un análisis que consiste en incinerar una materia orgánica para obtener un determinado residuo orgánico, el cual es tratado de manera térmica entre 500 y 600 °C, además, es un método bastante

sencillo que sirve para determinar la calidad de ciertos alimentos y sus constituyentes individuales. Por otro lado, el contenido de cenizas no es específicamente de la misma composición que el material inicial, debido a que pueden existir pérdidas por volatilización o interacción entre los componentes de este (Márquez, 2014, p. 10).

– *Humedad*

Para las pruebas de determinación de humedad en almidones se debe estabilizar la estufa a una temperatura de 130 °C por un lapso de 45 minutos, posterior a ellos se introducen 2 g de muestra en la estufa por el período de una hora, se analiza la cantidad de sólidos totales y pérdida de peso como humedad, todo esto en base a la norma que rige a los cereales y sus productos INEN 1462 (Amaya, 2018, pp. 3-5).

– *Temperatura de gelatinización*

Este parámetro consiste en observar el hinchamiento de los gránulos de almidón causado por la polimerización que es provocada por la gelatinización y aumenta el peso de este. Para llevar a cabo este procedimiento se debe obtener una suspensión del almidón al 5 %, colocar en baño maría a 85 °C agitando constantemente y tomar la temperatura cuando lo antes mencionado ocurra (Amaya, 2018, pp. 3-5).

– *Densidad aparente*

Este examen se realiza haciendo caer libremente un gránulo del material de interés dentro de una probeta de 5 ml a la que se le toma la lectura inicial de volumen y final, para posteriormente ser llevada a vibración y medir el volumen apisonado que corresponde, su base se estructura en la metodología de la USP39 (Sulbarán et al., 2018, pp. 7-8).

1.2.3. Óxido de grafeno

Es un nanomaterial que posee extraordinarias características las cuales son: electrónicas, mecánicas, térmicas y ópticas. Es usado para el mejoramiento en avances tecnológicos en el área de la salud, biotecnología, desarrollo de transistores de velocidad y en el mejoramiento de los denominados bioplásticos, ya que posee un ordenamiento en forma de panal de los átomos de carbono que lo componen (Camargo & Sevilla, 2021, pp. 3-4).

1.2.3.1. Método de extracción

– Método de hummers

Este método es el más utilizado en la actualidad pues consiste en la adición lenta de permanganato de potasio (KMnO_4) para realizar la oxidación del grafito que se encuentra en un medio ácido, siendo este el ácido sulfúrico (H_2SO_4). Por otro lado, los métodos creados por Brodie y Staudenmaier involucran la añadidura de otros agentes oxidantes como son el clorato de potasio (KClO_3) en un medio de ácido nítrico (HNO_3) (Fariás et al., 2017, pp. 2-3).

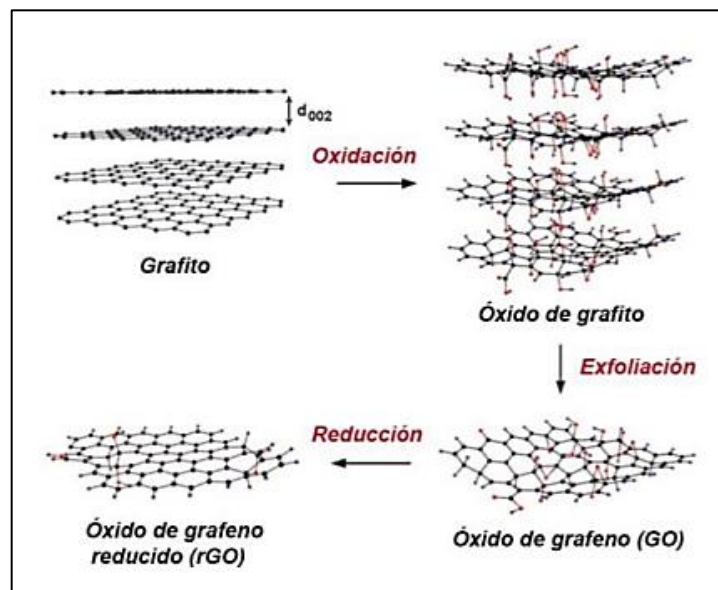


Figura 3-1: Síntesis del óxido de grafeno a partir de grafito.

Fuente: (Fariás et al., 2017, p. 3).

Tabla 3-1: Características de los métodos de obtención del óxido de grafeno.

Nº	Método	Oxidante	Solvente	Tiempo	C/O Ratio	Ventaja	Inconveniente
1	Brodie	KClO_3	HNO_3	3-4 días	2,16	Muy estable, poco contaminante, poca distancia entre capas.	Lento
2	Staudenmaier	KClO_3	HNO_3 , H_2SO_4	4 días	2,6	No reportado.	No reportado.
3	Hummers	NaNO_3 , KMnO_4	H_2SO_4	1 hora	2,25	Rápida reacción, pocos efectos.	Muy contaminante y alta degradación.

Fuente: (Fariás et al., 2017, p. 5).

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

1.2.3.2. Elementos utilizados en la extracción

– Grafito

Es un compuesto de las formas alotrópicas del carbono que posee una estructura laminar y un alto grado de anisotropía. Además, es un semimetal que contiene una determinada estructura electrónica con láminas denominadas grafeno. Este material se halla en pequeños cristales hexagonales que están compactos, férricos, foliados, entre otros y es capaz de combinarse fácilmente con ácidos y otros materiales sean líquidos o sólidos (Dirección General del Desarrollo Minero, 2017, pp. 4-6).

– Ácido sulfúrico

Es un líquido aceitoso que no posee olor ni color, bastante corrosivo, sin embargo, en su forma natural se lo encuentra con una tonalidad opaca, también considerado un oxidante fuerte. Debido a sus propiedades oxidantes e higroscópicas es empleado en reacciones de carbonización de carbohidratos, condensación orgánica entre otros, ya que permite su separación en los diferentes hidratos (Leon, 2018).

– Permanganato de potasio

Es un compuesto sólido a temperatura ambiente, cuyos cristales poseen una coloración púrpura, no tiene sabor ni olor. Esta sustancia es considerada un oxidante fuerte, que al entrar en contacto con agentes reductores puede provocar ignición. Por otro lado, si se relaciona con sustancias oxidables puede incurrir en una oxidación y combustión bastante violenta. Además, es un compuesto muy corrosivo, tanto que puede ocasionar quemaduras al entrar en relación directa con la piel (Consejo Colombiano de Seguridad, 2003).

– Peróxido de hidrógeno

Es una sustancia líquida que no tiene olor, ni color, en su estado puro es un compuesto muy inestable, ya que puede provocar una explosión, razón por la cual se encuentra en el mercado presente en una solución de agua. Es comúnmente usado como blanqueador, desinfectante, oxidante y para el tratamiento de aguas residuales o como compuesto para la preparación de otras sustancias químicas (Department of Health, 2011).

– *Ácido clorhídrico*

Es un gas sin color muy volátil, con olor acre, que se lo encuentra como un licuado comprimido en disolución con agua. Es utilizado para la preparación de otras sustancias químicas, limpieza de materiales y como reactivo de laboratorio. Es una sustancia bastante corrosiva, ya que puede ocasionar quemaduras, es por esto por lo que se debe mantener alejado del contacto directo con la piel (Department of Health, 2010).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. *General*

Evaluar la incidencia de la adición de óxido de grafeno en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido de jengibre (*Zingiber officinale*).

2.1.2. *Específicos*

- Identificar la cantidad óptima de óxido de grafeno usada para la mejora de las propiedades mecánicas del bioplástico.
- Caracterizar física y mecánicamente el material bioplástico obtenido.
- Determinar el tiempo de degradación al agua, ambiente y suelo del bioplástico.
- Cuantificar el costo de producción del bioplástico obtenido de jengibre.

2.2. Planteamiento de las hipótesis

2.2.1. *General*

Mediante la adición de óxido de grafeno en el bioplástico obtenido de jengibre (*Zingiber officinale*) mejorará sus propiedades mecánicas.

2.2.2. *Específicas*

- Al evaluar las propiedades mecánicas del bioplástico se identificará cuál es la cantidad óptima de óxido de grafeno a utilizar.
- Los ensayos físicos y mecánicos determinarán el mejor material bioplástico obtenido.
- La exposición de las láminas biodegradables al agua, ambiente y suelo establecerá el tiempo de degradación del plástico obtenido.
- Con una valoración económica se cuantificará el costo de producción del plástico obtenido de jengibre.

2.3. Identificación de variables

Tabla 1-2: Identificación de variables.

N°	Etapas del Proceso	Variables Independientes	Variables Dependientes
1	Extracción del almidón.	<ul style="list-style-type: none">• Materia Prima (jengibre).• Agua destilada.	<ul style="list-style-type: none">• Almidón obtenido
2	Obtención de óxido de grafeno.	<ul style="list-style-type: none">• Reactivos	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura.
3	Obtención del plástico biodegradable.	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura.• Aditivos	<ul style="list-style-type: none">• Humedad.• Espesor.• Permeabilidad.• Solubilidad.• Propiedades de tracción.• Biodegradabilidad.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022

2.4. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de variables.

N°	Variables	Tipo de Variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de Medición	Unidad de Medida
1	Materia Prima (jengibre)	Independiente	Es la fracción del material utilizado que es medible.	-	Cantidad	Balanza Analítica	g
2	Agua destilada	Independiente	Cantidad de agua utilizada dentro del proceso para la extracción de almidón.	-	Volumen	Probeta	mL
3	Almidón obtenido	Dependiente	Es la porción del material obtenido que representa una magnitud medible.	-	Peso	Balanza Analítica	g
4	Reactivos	Independiente	Componentes que son necesarios para la obtención de un producto que será utilizado posteriormente.	Grafito	Cantidad	Balanza Analítica	g
				Ácido Sulfúrico		Pipeta	mL
				Permanganato de Potasio		Balanza Analítica	g
				Agua Destilada		Vaso de Precipitación	mL
				Peróxido de Hidrógeno		Bureta	mL
				Ácido Clorhídrico		Pipeta	mL
5	Temperatura	Independiente, Dependiente	Corresponde a la magnitud física que mide la cantidad de calor o energía térmica que posee un sistema.	De la elaboración del bioplástico	Calor	Termómetro	°C
				De la obtención del óxido de grafeno	Calor	Termómetro	°C
6	Aditivos	Independiente		Almidón	Cantidad	Balanza Analítica	g

			Fracción de un material utilizado que es susceptible a medición y usado con la finalidad de elaborar un producto.	Glicerina	Cantidad	Vaso de Precipitación	mL
				Óxido de Grafeno	Cantidad	Pipeta	mL
7	Humedad	Dependiente	Cantidad de agua que se encuentra contenida dentro de un material.	-	Porcentaje	Balanza de Humedad	%
8	Espesor	Dependiente	Corresponde al grosor que presenta un material.	-	Longitud	Calibrador	mm
9	Permeabilidad	Dependiente	Capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición.	-	WVTR	Balanza Analítica	g
10	Solubilidad	Dependiente	Capacidad que posee un material para disolverse al entrar en contacto con un líquido.	-	Peso	Balanza Analítica	g
11	Propiedades de tracción	Dependiente	Máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse.	-	Esfuerzo máximo	Equipo de tracción (Shimadzu Autograph)	MPa
12	Biodegradabilidad	Dependiente	Capacidad que tienen las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más sencillas debido a la actividad enzimática de microorganismos	Suelo	Área	Calibrador	mm
				Agua	Área	Calibrador	mm
				Ambiente	Área	Calibrador	mm

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.5. Matriz de consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia.

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
Los plásticos biodegradables han sido una opción viable debido a su corto tiempo de degradación, sin embargo, al observar sus propiedades mecánicas se ha denotado que puede existir un mejoramiento mediante el uso de óxido de grafeno, ya que es usado en avances tecnológicos en el área de la salud, biotecnología, desarrollo de transistores de velocidad y en el mejoramiento de los denominados bioplásticos, ya que posee un ordenamiento en forma de panal de los átomos de carbono que lo componen.		Evaluar la incidencia de la adición de óxido de grafeno en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>).		Mediante la adición de óxido de grafeno en el bioplástico obtenido de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>) mejorará sus propiedades mecánicas.
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables de las Hipótesis Específicas	Técnicas de Recolección de Datos
No existen datos registrados acerca de la cantidad de óxido de grafeno que se debe utilizar para la elaboración del bioplástico.	Identificar la cantidad óptima de óxido de grafeno usada para la mejora de las propiedades mecánicas del bioplástico.	Al evaluar de las propiedades mecánicas del bioplástico se identificará cuál es la cantidad óptima de óxido de grafeno a utilizar.	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos • Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Hummers modificado

¿El material bioplástico obtenido mejoró mecánicamente con el uso del óxido de grafeno en su estructura?	Caracterizar físico, química y mecánicamente el material bioplástico obtenido.	Los ensayos físicos y mecánicos determinarán el mejor material bioplástico obtenido.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Espesor • Permeabilidad • Solubilidad • Propiedades de tracción • Biodegradabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos físicos • ASTM D882 • NTE INEN 2635 • ASTM D1653-93
¿El bioplástico obtenido con el uso de óxido de grafeno se degradó en menor tiempo que el compuesto por ácido acético?	Determinar el tiempo de degradación al agua, ambiente y suelo del bioplástico.	La exposición de las láminas biodegradables al agua, ambiente y suelo establecerá el tiempo de degradación del plástico obtenido.	<ul style="list-style-type: none"> • Medición del Área • Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Método físico
¿La elaboración de este bioplástico es viable para la economía?	Cuantificar el costo de producción del bioplástico obtenido de jengibre.	Con una valoración económica se cuantificará el costo de producción del bioplástico obtenido de jengibre.	<ul style="list-style-type: none"> • Precios de los Aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración económica

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6. Tipo y diseño de investigación

2.6.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo exploratoria porque su base de estudio se encuentra en identificar si el uso de óxido de grafeno en las películas biodegradables obtenidas de jengibre (*Zingiber officinale*) presentará mejoras a la hora de ser caracterizadas.

2.6.2. Diseño de investigación

Esta investigación posee un diseño experimental totalmente al azar, que permitió verificar la tendencia positiva o negativa presente en el bioplástico obtenido al hacer uso del óxido de grafeno.

2.6.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación es el bioplástico obtenido de jengibre, el cual fue estudiado física y mecánicamente para evaluar si existe un mejoramiento.

2.6.4. Población de estudio

La población de estudio corresponde a los 10,98 Kg de materia prima que fue utilizada para la obtención de almidón de jengibre, misma que se suministró de mercados de la ciudad de Riobamba y pasó por un muestreo para escoger el material más fresco y de mejor calidad.

2.6.5. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra concierne a los 6 tratamientos que se realizarán 4 veces cada uno, dando como resultado un total de 24 repeticiones para la elaboración del bioplástico.

Tabla 4-2: Nomenclatura y concentración de los bioplásticos generados a partir del diseño experimental totalmente al azar.

N°	Composición	Óxido de Grafeno	Repeticiones
1		GO1	1
2			2
3			3
4			4
5		GO2	1
6			2
7			3
8			4
9		GO3	1

10	AG		2	
11			3	
12			4	
13			1	
14		GO4		2
15				3
16				4
17			1	
18		GO5		2
19				3
20				4
21			1	
22		GO6		2
23				3
24				4

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6.6. Selección de muestra

Corresponde a un muestreo no probabilístico debido a que los 0,909602 Kg de almidón obtenido dependen exclusivamente del método de extracción y tiempo de sedimentación.

2.6.7. Técnicas de recolección de datos

2.6.7.1. Técnica de extracción del almidón

Tabla 5-2: Técnica de extracción del almidón

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Métodos de Ensayo
<p>Método por vía húmeda</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Licuadora ● Cuchillo ● Guantes de nitrilo ● Balanza ● Probeta ● Vasos plásticos ● Cernidor ● Media nylon ● Estufa con recirculación de aire ● Mortero y pistilo ● Tamices malla 150 μ y 300 μ ● Fundas ziploc 	<ul style="list-style-type: none"> ● Agua destilada ● Jengibre ● Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lavar, pelar y trocear los jengibres de mejor calidad. ● Sumergir la materia prima en una solución de metabisulfito de sodio al 0.5% para evitar su oxidación. ● Retirar de la solución anterior el jengibre y licuar 500 g por cada 1000 ml de agua. ● Filtrar la solución para separar la materia sólida de la líquida y sedimentar por aproximadamente 8 horas. ● Expulsar el sobrenadante y secar en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 50 °C. ● El almidón seco obtenido es pulverizado con un mortero para ser tamizado por una malla de 150 μ y 300 μ respectivamente. ● Finalmente se introducir en una funda ziploc y pesar. 	<p>(Nivelo, 2021, p.62)</p>

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

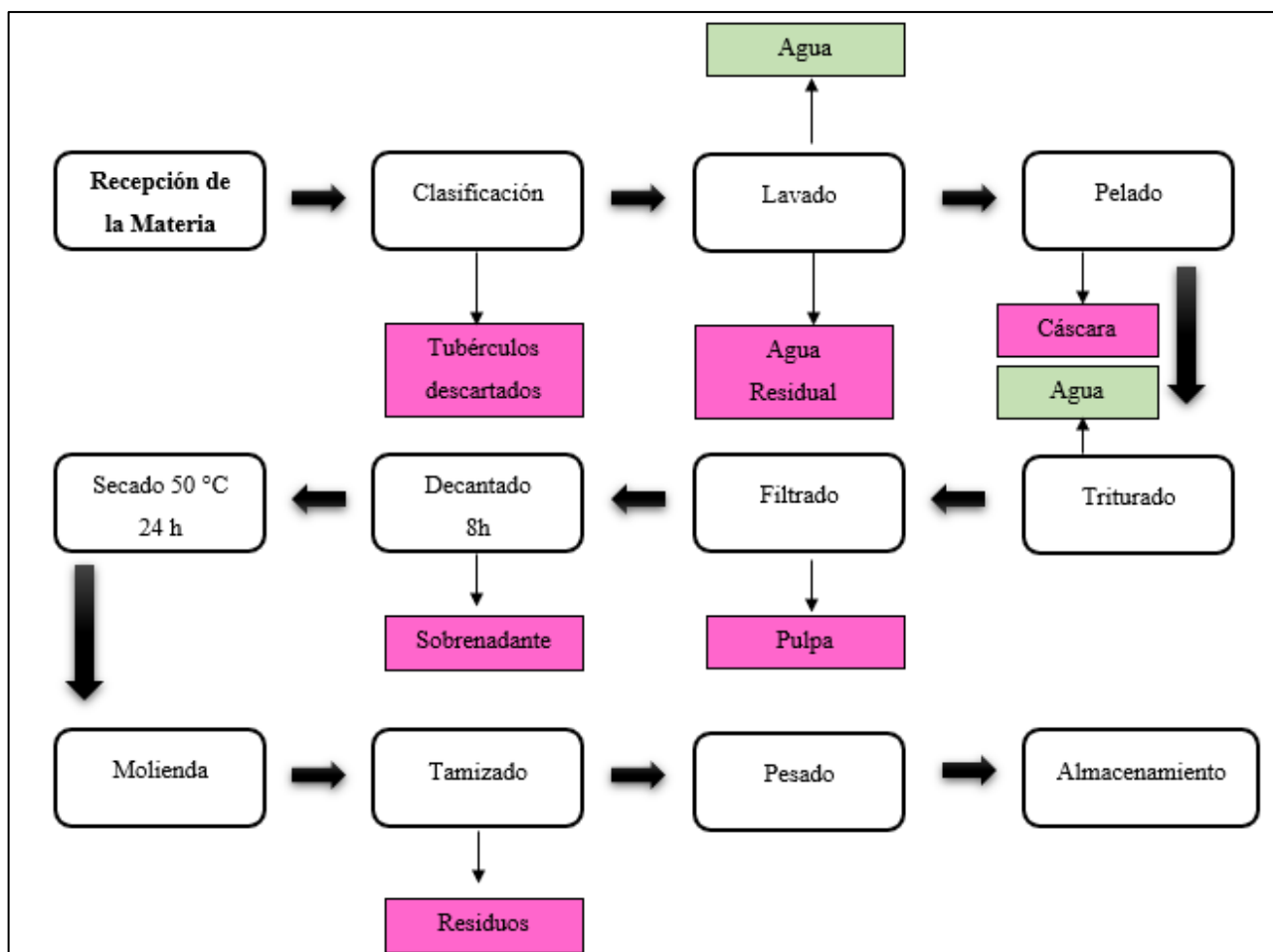


Gráfico 1-2: Diagrama de flujo de la extracción de almidón de jengibre por vía húmeda.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6.7.2. Caracterización fisicoquímica del almidón de jengibre

Tabla 6-2: Caracterización fisicoquímica del almidón de jengibre.

Nº	Análisis	Reactivos, Materiales y Equipos	Procedimiento	Cálculo o fórmula	Método de Ensayo
1	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Termobalanza • Vidrio reloj • Espátula • Almidón de jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> • La humedad del almidón es medida directamente con una termobalanza. • Se toman de muestra 5 g que serán ubicados en el platillo que ya ha sido tarado y se introducen en la balanza de humedad. • Se cierra la tapa superior, se registra la medida del contenido de humedad y el peso final. 	Las balanzas para medición de humedad determinan la sustancia seca que queda tras un proceso de secado con energía infrarroja de la sustancia total previamente pesada y calcula así la humedad de la masa pesada húmeda.	(Tobarra, 2018)
2	Cenizas	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Espátula • Desecador • Crisoles • Mufla • Pinzas para crisol • Guantes térmicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 5 g de almidón en los crisoles que han sido previamente lavados y tarados durante 5 horas. • Colocar el crisol de porcelana con la muestra en la mufla e incinerar a 550°C. • Retirar los crisoles de la mufla y enfriar en un desecador hasta obtener un peso constante. • Registrar el peso del crisol con el contenido de cenizas y hacer el cálculo. • Expresar el resultado final en % de cenizas. 	<p>El contenido de cenizas puede proveer una estimación de la calidad del almidón: altos niveles pueden indicar contaminación en la muestra y se calcula de la siguiente forma:</p> $C(\%) = \frac{P2(g) * 100}{P1 (g)}$ <p>Ecuación 1-2: Contenido de cenizas. Siendo: C(%) = porcentaje de cenizas. P2 = peso de las cenizas. P1 = peso de la muestra.</p>	(Aristizábal & Sánchez, 2007, p. 106)
3	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavar y secar los tubos de centrífuga a 60 °C. 		(Aristizábal & Sánchez, 2007, p. 88)

		<ul style="list-style-type: none"> • Tubos falcon de 50 mL • Baño María • Centrífuga • Vasos de precipitación de 100 mL y 500 mL • Estufa con recirculación de aire • Pipeta volumétrica de 10 mL • Espátula • Probeta de 50 mL • Reverbero • Agua destilada • Almidón de jengibre • Termómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesarse en los tubos 1,25 g de almidón y agregar exactamente 30 ml de agua destilada calentada a 60 °C y agitar (sin excederse). • Colocar en baño maría a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. • Centrifugar a temperatura ambiente a 3000 rpm durante 45 minutos. • Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir su volumen. • Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitación de 100mL (previamente lavado y secado a 70°C). • Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70°C • Pesarse el tubo de centrifuga con el gel. • Pesarse el vaso de precipitación con los insolubles. 	<p>Un almidón de buena calidad tendrá una baja solubilidad y para su cálculo se usa la siguiente fórmula:</p> $ISA = \frac{Ps(g) * V * 10}{Pm (g)}$ <p>Ecuación 2-2: Índice de solubilidad de agua.</p> <p>Siendo: ISA = Índice de solubilidad de agua. Ps = peso solubles. V = Volumen del sobrenadante. Pm = peso de la muestra en base seca.</p>	
4	pH	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • pH metro • Vidrio reloj 	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0. 	<p>Para determinar el pH del almidón se realiza mediante una medición directa con el equipo.</p>	(Aristizábal & Sánchez, 2007, p. 104)

		<ul style="list-style-type: none"> • Espátula • Tubo falcon de 50 mL • Vaso de precipitación de 250 mL • Centrífuga • Sonicador • Agua destilada • Almidón de jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar 20 g de almidón en base seca con 100 ml de agua destilada (previamente sonicada durante 15 minutos). • Tomar una alícuota de 50 mL de la solución anterior y trasvasar a los tubos falcon. • Centrifugar por 5 minutos a 3000 rpm. • Medir el pH con el equipo. 		
5	Viscosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Viscosímetro • Aguja de Viscosímetro L2 • Agua destilada • Almidón de jengibre • Varilla de agitación • Reverbero • Vaso de precipitación de 600 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 25 g de almidón en base seca y disolver en agua destilada hasta completar 500 mL en un vaso de precipitación. • Calentar hasta su ebullición. • Enfriar el gel hasta 25°C. • Medir la viscosidad a una velocidad de 10 RPM. 	Para determinar la viscosidad se hace a través de una medición directa del equipo.	(Aristizábal & Sánchez, 2007, p. 81)

		<ul style="list-style-type: none"> • Termómetro • Vidrio reloj • Espátula 			
6	Temperatura de Gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Baño María • Vasos de precipitación de 100 ml y 50 mL • Pinzas para crisol • Almidón de jengibre • Agua destilada • Termómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 10 g de almidón en base seca y disolver en agua destilada hasta completar 100 mL. • Calentar el baño María hasta una temperatura de 85 °C. • Tomar 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitación. • Agitar con el termómetro constantemente hasta que la solución forme una pasta y la temperatura permanezca estable durante unos segundos. • Leer la temperatura de gelatinización. 	La medición se realiza con el termómetro de forma directa.	(Aristizábal & Sánchez, 2007, p. 87)

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6.7.3. Técnica de obtención del óxido de grafeno

Tabla 7-2: Técnica de obtención del óxido de grafeno.

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Métodos de Ensayo
Método de Hummers modificado	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Matraz de fondo redondo con 3 bocas • Bureta de 10 mL • Pipeta de 10 mL • Vasos de precipitación • Vidrio reloj • Termómetro digital y de mercurio • Agitador Magnético con Magneto • Balón de aforo de 100 mL • Vidrio Pyrex • Pera de succión • Soporte Universal • Pinzas para soporte universal 	<ul style="list-style-type: none"> • Grafito • H₂SO₄ concentrado • KMnO₄ • Agua destilada • H₂O₂ • HCl 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 3 g de grafito y añadir al balón conjunto con los 70 mL de Ácido Sulfúrico concentrado. • Todo el proceso debe estar bajo vigorosa agitación y añadir lentamente durante 45 minutos los 9 g de Permanganato de Potasio sin que el sistema exceda los 20 °C. • Transferir al baño de aceite (precalentado a 50 °C) durante 30 minutos controlando que la temperatura no exceda los 50 °C. • Agregar 150 mL de agua destilada al reactor gota a gota durante 20 minutos, controlando que la temperatura del sistema no exceda los 90 °C. • Posteriormente añadir los 500 mL de agua destilada y consecuentemente los 15 mL de peróxido de hidrógeno gota a gota (notar cambio de color de café oscuro a amarillo). 	(Tubon, 2015, pp.25-50)

	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo refrigerante de bolas • Tubos falcon de 50 mL • Hielo • pH metro • Centrífuga • Espátula • Campana de Extracción de gases • Olla de Aluminio • Reverbero • Corchos • Baño María con sonicador • Estufa con recirculación de aire • Aceite de Cocina 		<ul style="list-style-type: none"> • Centrifugar la solución a 3000 rpm por 10 minutos, lavando una vez con Ácido Clorhídrico en relación 1:10. • Centrifugar la solución haciendo lavados con agua destilada (de 5 a 7) hasta llegar a un pH de 7. • El precipitado es secado en una estufa en los pyrex a 80 °C durante 24 horas. • Disolver 1L de agua destilada por cada gramo de material obtenido. • Sonicar la solución durante 1 hora hasta que todo este disuelto. • Centrifugar la solución por 30 minutos a 1000 rpm, obteniendo una suspensión de óxido de grafeno menos denso que representa el sobrenadante y el óxido de grafito el material que no fue exfoliado. 	
--	--	--	---	--

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

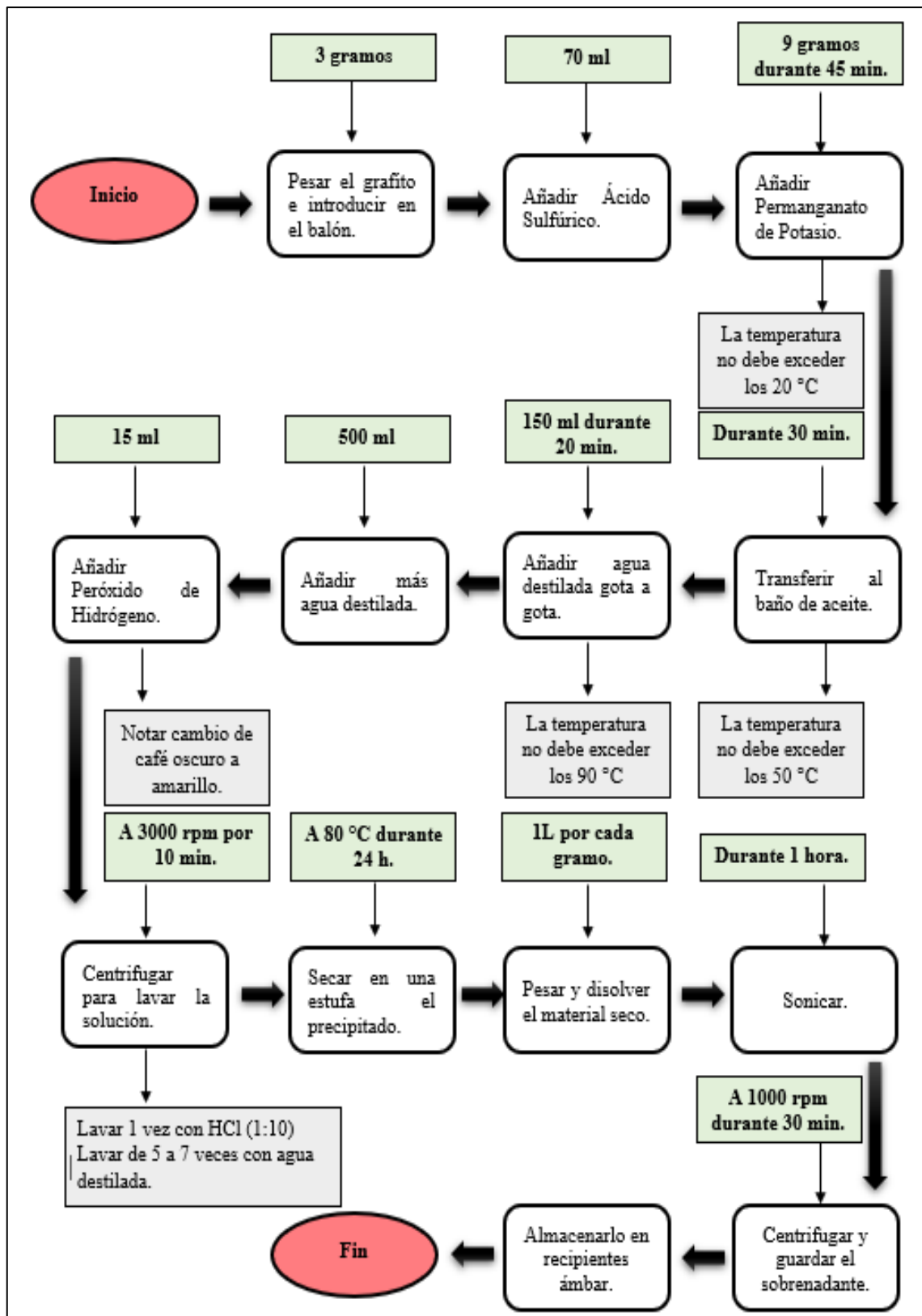


Gráfico 2-2: Diagrama de flujo de la obtención de óxido de grafeno.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6.7.4. Técnica de obtención del bioplástico

Tabla 8-2: Técnica de obtención del bioplástico.

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Métodos de Ensayo
Obtención de Biofilms	<ul style="list-style-type: none"> ● Estufa ● Baño María ● Vasos de precipitación de 250 mL ● Varilla de agitación ● Termómetro ● Balanza Analítica ● Cajas petri ● Moldes de vidrio ● Espátula ● Probetas de 250 mL y 50 mL 	<ul style="list-style-type: none"> ● Agua destilada (H₂O) ● Glicerina ● Óxido de Grafeno ● Almidón de Jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> ● En un vaso de precipitación preparar la solución agua destilada-almidón. ● Colocar en baño maría (85 °C) hasta que la solución alcance la temperatura de gelatinización, mientras se agita constantemente. ● Agregar el plastificante (glicerina) y el conservante (óxido de grafeno), variando su concentración, mientras se agita hasta homogenizar la mezcla y dejar enfriar. ● Verter la mezcla en las cajas petri y los moldes de vidrio y secar en la estufa a una temperatura de 75 °C por un tiempo determinado hasta obtener las cualidades deseadas. 	(Brito & Chuiza, 2020, pp.8-13),

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

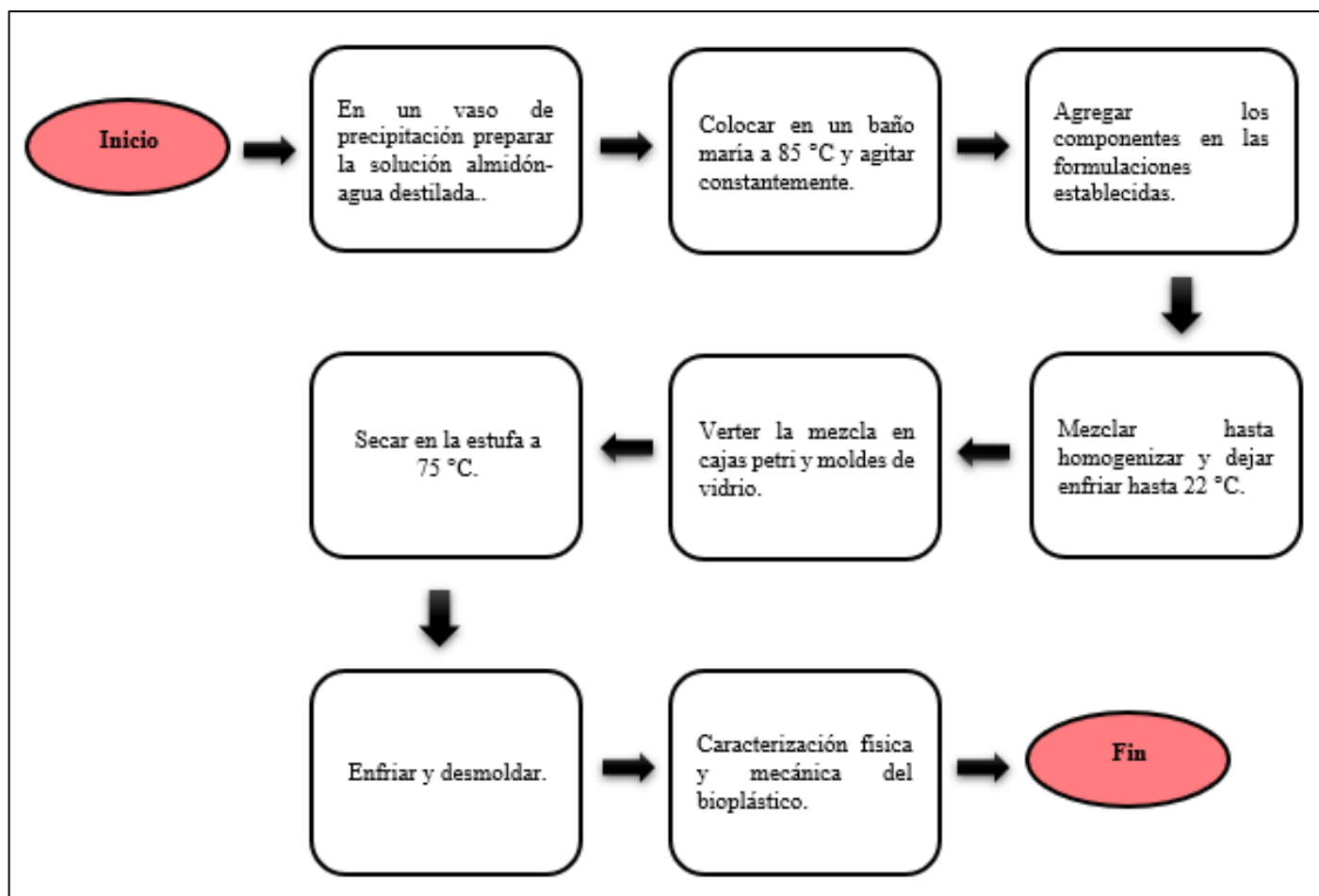


Gráfico 3-2: Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

2.6.7.5. Caracterización del bioplástico

Tabla 9-2: Caracterización del bioplástico.

N°	Análisis	Reactivos, Materiales y Equipos	Procedimiento	Cálculo o fórmula	Método de Ensayo
1	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica Termobalanza Láminas de bioplástico de jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizan muestras de bioplástico de 3*3. Se coloca la muestra sobre el platillo previamente tarado. Se cierra la tapa superior y se registra la medida de humedad y el peso final de la muestra, el procedimiento se realiza de manera directa con ayuda de la termobalanza. Realizar 3 repeticiones de cada tratamiento. 	Las balanzas para medición de humedad determinan la sustancia seca que queda tras un proceso de secado con energía infrarroja de la sustancia total previamente pesada y calcula así la humedad de la masa pesada húmeda.	(Tobarra, 2018)
2	Espesor	<ul style="list-style-type: none"> Calibrador digital Láminas de bioplástico de jengibre Cúter 	<ul style="list-style-type: none"> Se usa un calibrador digital para medir las longitudes entre sus dos contactos de medida. 	El sistema de medición es directo, ya que consta con un cuerpo de tope fijo y otro móvil que tiene una regleta micrométrica.	(Nivelo, 2021, p.40)
3	Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Tubos de ensayo Gradilla Balanza Analítica Desecador Sílica gel Láminas de bioplástico de jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> El día anterior antes de realizar la prueba se debe secar la sílica gel en la estufa a una temperatura de 65 °C para que sea activada. Pesar el biofilm y colocar sobre un tubo de ensayo, que debe contener ¾ partes de la sílica activada y sellar con cinta transparente. Colocar los tubos de ensayo en el desecador, el cual debe contener 	<p>La fórmula para determinar la permeabilidad del plástico es la siguiente:</p> $WVP = \frac{(P2 - P1) * e}{t * pv * (\varphi2 - \varphi1)}$ <p>Ecuación 3-2: Permeabilidad del plástico.</p> <p>Siendo: P2 = peso final (g). P1 = peso inicial (g). e = espesor (mm). t = tiempo (h).</p>	ASTM D1653:93 Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico.

		<ul style="list-style-type: none"> • Solución de NaCl sobresaturada • Calibrador digital 	<p>una solución sobresaturada de NaCl.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesar 8 repeticiones durante cada hora y el peso final a las 24 horas. 	<p>pv = presión de vapor de agua a 23 °C (MPa). φ2 = humedad relativa 2. φ1 = humedad relativa 1.</p>	
4	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Láminas de bioplástico de jengibre • Probeta • Papel filtro • Balanza Analítica • Shaker • Vaso de precipitación de 100 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Las muestras para analizar deben ser previamente secadas. • Colocar las probetas en un vaso de precipitación con un volumen de agua destilada de 50 mL. • Agitar las muestras a 100 rpm durante una hora en el shaker. • Filtrar haciendo uso de un papel filtrante y secar en la estufa a una temperatura de 40 °C. • Una vez que perdió toda la cantidad de agua proceder a pesar. 	<p>Para determinar el % de solubilidad del bioplástico se usa la siguiente fórmula:</p> $\%solubilidad = \frac{mi - mf}{mi} * 100$ <p>Ecuación 4-2: Solubilidad del plástico.</p> <p>Siendo: mi = masa inicial seco del bioplástico (g). mf = masa final seco del bioplástico (g).</p>	(Innotec, 2009, p. 37)
5	Propiedades de tracción	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina universal de pruebas de tracción • Probetas 	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo descrito por la norma es una máquina de prueba del tipo velocidad constante de movimiento de cruceta que comprende una parte fija que lleva una mordaza y una parte móvil que lleva una segunda mordaza. • Acondicionar el equipo, e introducir la probeta, sujetarla a ambos extremos y tomar los datos generados. 	<p>Se determina el cálculo mediante los centímetros de elongación y la fuerza ejercida por el equipo. Método de medición directa.</p>	INEN 2635: Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Laminas Plásticas Delgadas.
6	Biodegradabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes herméticos • Láminas de bioplástico de jengibre 	<ul style="list-style-type: none"> • La prueba se realiza en los tres medios: suelo, agua y ambiente. • Tomar la muestra del biofilm de 4*4 cm y colocarlos en los tres medios antes mencionados. • Analizar la muestra cada 5 días. 	<p>Se determina la degradabilidad del plástico haciendo uso del programa Image J mismo que permite conocer la disminución del área de cada muestra del plástico biodegradable.</p>	Método de pérdida de área

		<ul style="list-style-type: none">● Programa Image J● Tierra orgánica● Agua			
--	--	---	--	--	--

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Datos obtenidos

3.1.1. Almidón

3.1.1.1. Análisis sensorial de la materia prima

Se realizó el análisis sensorial y la caracterización física del jengibre tomando como muestra una población de 20 unidades debidamente clasificadas por su frescura teniendo en cuenta los siguientes datos:

Tabla 1-3: Caracterización física del jengibre.

N°	Producto	CARACTERÍSTICAS		
		Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	Jengibre	41,100	62,900	30,300
2		38,126	98,400	30,800
3		28,440	58,600	25,800
4		76,084	85,700	35,900
5		74,337	70,400	40,400
6		35,751	64,700	26,300
7		49,805	61,200	33,900
8		29,219	44,200	35,000
9		68,609	71,300	32,800
10		61,278	95,700	49,600
11		97,774	133,400	32,800
12		41,405	106,900	24,200
13		97,187	106,200	37,300
14		84,911	108,900	33,700
15		106,360	102,600	32,300
16		65,020	82,300	41,500
17		77,709	99,700	42,000
18		49,265	84,300	30,400
19		54,980	75,800	31,800
20		78,319	83,300	44,400
PROMEDIO		62,784	84,825	34,560

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.1.2. Método de extracción del almidón por vía húmeda

El método de extracción utilizado en esta experimentación fue el expuesto por (Nivelo, 2021, p.44), debido a que este presenta un rendimiento del 8.395 % para conseguir la mayor cantidad de almidón a partir del jengibre, realizando su proceso de secado en una estufa a 50°C durante un periodo de 24 horas, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 2-3: Extracción por vía húmeda.

Nº	Producto	Tratamiento	Variables	Repetición	Materia Prima (g)	Vol. Agua (mL)	Almidón (g)	Tiempo de secado (h)
1	Jengibre	TA2	V= 2000 RPM T= 60 s	R1	406,000	1000	33,386	24
2				R2	407,000		33,556	
3				R3	405,000		33,850	
4				R4	407,000		31,950	
5				R5	405,000		33,850	
6				R6	407,000		32,520	
7				R7	407,000		32,220	
8				R8	406,000		31,550	
9				R9	408,000		35,652	
10				R10	405,000		32,520	
11				R11	408,000		34,250	
12				R12	408,000		34,550	
13				R13	406,000		34,697	
14				R14	406,000		32,500	
15				R15	408,000		35,840	
16				R16	406,000		34,865	
17				R17	405,000		34,500	
18				R18	407,000		35,662	
19				R19	406,000		32,600	
20				R20	406,000		32,890	
21				R21	407,000		33,500	
22				R22	408,000		36,880	
23				R23	406,000		32,450	
24				R24	407,000		32,235	
25				R25	406,000		33,600	
26				R26	406,000		32,535	
27				R27	408,000		34,994	

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.2. Óxido de grafeno

3.1.2.1. Sintetización

El método de obtención de óxido de grafeno utilizado es el método de hummers expuesto por (Tubon, 2015, pp.25-50) en su investigación, debido a que este es el proceso más común para su sintetización.

Tabla 3-3: Cantidades obtenidas en la sintetización.

Nº	Grafito (g)	Óxido de grafito (g)	Óxido de grafeno (g)
1	3,000	3,405	2,548

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3. Bioplásticos

3.1.3.1. Elaboración del blanco

Tabla 4-3: Formulación del blanco.

Nº	Tratamiento	Cantidad de almidón (g)	Cantidad de glicerina (mL)	Cantidad de agua destilada (mL)	Cantidad de ácido acético (mL)	Repetición	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
1	G4	3	1,5	35	5	R1	24	19
						R2		
						R3		
						R4		

Fuente: (Nivelo, 2021, p.49).

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Para la elaboración del bioplástico se utilizó el tratamiento 4 expuesto por (Nivelo, 2021, p.49) en su investigación, el cual demuestra las mejores características mecánicas, teniendo un tiempo de secado de 24 horas al ambiente de la ciudad de Riobamba con una temperatura de 19°C.

3.1.3.2. Elaboración con óxido de grafeno

El diseño factorial usado es uno totalmente al azar realizando 4 repeticiones de 6 diferentes tratamientos, variando la cantidad de adición de óxido de grafeno.

Tabla 5-3: Formulación con OG.

Nº	Tratamiento	Cantidad de almidón (g)	Cantidad de glicerina (mL)	Cantidad de agua destilada (mL)	Cantidad de óxido de grafeno (mL)	Repetición	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
1	TBJ1	3	1,5	35	0,5	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							
2	TBJ2				1	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							
3	TBJ3				1,5	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							
4	TBJ4				2	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							
5	TBJ5				2,5	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							
6	TBJ6				3	R1	26	19
	R2							
	R3							
	R4							

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3.3. Ensayo de humedad

Este ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, haciendo uso de una termobalanza con muestras de 4*4 cm.

Tabla 6-3: Prueba de humedad.

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	TBJ1	R1	0,492	0,399
		R2	0,467	0,383
		R3	0,366	0,300
2	TBJ2	R1	0,188	0,153
		R2	0,202	0,163
		R3	0,285	0,229
3	TBJ3	R1	0,195	0,155
		R2	0,220	0,175
		R3	0,199	0,163
4	TBJ4	R1	0,248	0,202
		R2	0,339	0,268
		R3	0,311	0,251

5	TBJ5	R1	0,376	0,306
		R2	0,301	0,243
		R3	0,259	0,211
6	TBJ6	R1	0,362	0,290
		R2	0,369	0,303
		R3	0,353	0,285

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3.4. Ensayo de solubilidad

Para el ensayo de solubilidad se utilizaron las muestras que salieron de la prueba de humedad, para un mejor cálculo de la propiedad. Esta experimentación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, haciendo uso de un shaker a 100 rpm y una estufa a 40°C, para el secado del plástico biodegradable.

Tabla 7-3: Prueba de solubilidad.

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso inicial seco (g)	Peso final seco (g)
1	TBJ1	R1	0,399	0,254
		R2	0,383	0,245
		R3	0,300	0,191
2	TBJ2	R1	0,153	0,095
		R2	0,163	0,102
		R3	0,229	0,143
3	TBJ3	R1	0,155	0,096
		R2	0,175	0,108
		R3	0,163	0,101
4	TBJ4	R1	0,202	0,123
		R2	0,268	0,162
		R3	0,251	0,151
5	TBJ5	R1	0,306	0,184
		R2	0,243	0,147
		R3	0,218	0,131
6	TBJ6	R1	0,290	0,174
		R2	0,303	0,182
		R3	0,285	0,169

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3.5. Espesor

Se efectuaron un total de 10 distintas mediciones del espesor en las muestras obtenidas.

Tabla 8-3: Mediciones del espesor.

N°	Tratamiento	Repetición	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)	M4 (mm)	M5 (mm)	M6 (mm)	M7 (mm)	M8 (mm)	M9 (mm)	M10 (mm)
1	TBJ1	R1	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100
		R2	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R3	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
		R4	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
2	TBJ2	R1	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R2	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R3	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R4	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
3	TBJ3	R1	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R2	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100
		R3	0,200	0,100	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100
		R4	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100
4	TBJ4	R1	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
		R2	0,200	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
		R3	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R4	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
5	TBJ5	R1	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
		R2	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100
		R3	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
		R4	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200
6	TBJ6	R1	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100
		R2	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R3	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
		R4	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3.6. Ensayo de permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, haciendo uso de láminas de bioplástico de 4*4 cm, poniendo el día anterior a activar la sílica gel a 65°C, tomando 9 pesos totales, los cuales fueron durante 8 horas seguidas y a las 24 horas.

Tabla 9-3: Prueba de permeabilidad.

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Peso 5 (g)	Peso 6 (g)	Peso 7 (g)	Peso 8 (g)	Peso 9 (g)
1	TBJ1	R1	34,875	34,877	34,880	34,886	34,890	34,893	34,894	34,896	34,953
		R2	34,874	34,875	34,879	34,884	34,889	34,892	34,892	34,893	34,952
		R3	34,876	34,879	34,882	34,887	34,892	34,894	34,894	34,895	34,898
2	TBJ2	R1	34,677	34,677	34,682	34,687	34,692	34,693	34,695	34,697	34,753
		R2	34,675	34,675	34,681	34,685	34,691	34,692	34,694	34,696	34,758
		R3	34,679	34,679	34,684	34,688	34,693	34,694	34,694	34,696	34,699
3	TBJ3	R1	35,411	35,413	35,419	35,422	35,425	35,427	35,430	34,432	35,491
		R2	35,413	35,415	35,420	35,424	35,426	35,429	35,432	35,434	35,493
		R3	35,410	35,412	35,417	35,420	35,423	35,426	35,429	35,431	35,488
4	TBJ4	R1	34,854	34,856	34,862	34,868	34,870	34,874	34,875	34,878	34,929
		R2	34,856	34,858	34,864	34,870	34,872	34,874	34,875	34,878	34,940
		R3	34,857	34,869	34,866	34,872	34,874	34,876	34,877	34,880	34,942
5	TBJ5	R1	35,143	35,143	35,148	35,153	35,156	35,160	35,163	35,167	35,221
		R2	35,144	35,145	35,150	35,155	35,158	35,162	35,165	35,169	35,229
		R3	35,146	35,146	35,152	35,157	35,160	35,164	35,170	35,175	35,230
6	TBJ6	R1	35,741	35,743	35,749	35,752	35,759	35,761	35,763	35,765	35,823
		R2	35,738	35,740	35,747	35,750	35,757	35,759	35,761	35,764	35,821
		R3	35,742	35,745	35,750	35,754	35,761	35,763	35,765	35,767	35,830

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.1.3.7. Prueba de degradabilidad

Este ensayo se realizó con ayuda del programa llamado Image J que permite medir el área del material plástico obtenido y su degradación con el transcurso de los días, expuesto a los ambientes, suelo, aire y agua.

Tabla 10-3: Degradabilidad en agua.

N°	Tratamiento	Área Inicial (cm ²)	Área 1 (cm ²)	Área 2 (cm ²)	Área 3 (cm ²)	Área 4 (cm ²)	Área 5 (cm ²)	Área 6 (cm ²)	Área 7 (cm ²)	Área 8 (cm ²)	Área 9 (cm ²)	Área 10 (cm ²)
1	TBJ1	18,309	20,402	20,309	19,779	18,960	18,033	17,374	14,978	13,617	13,555	13,095
2	TBJ2	16,750	18,965	18,149	16,985	16,001	8,756	8,117	6,920	5,993	5,872	5,793
3	TBJ3	15,379	20,032	18,607	18,183	15,665	12,459	12,155	12,015	11,197	10,541	10,322
4	TBJ4	14,709	19,351	19,140	18,663	14,803	12,744	12,731	10,612	6,577	5,401	5,003
5	TBJ5	16,643	18,861	18,802	18,517	18,329	9,246	8,059	7,207	7,079	5,505	3,804
6	TBJ6	15,365	19,704	18,361	16,636	15,790	13,066	11,804	11,199	9,910	9,127	8,234

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 11-3: Degradabilidad en suelo.

N°	Tratamiento	Área Inicial (cm ²)	Área 1 (cm ²)	Área 2 (cm ²)	Área 3 (cm ²)	Área 4 (cm ²)	Área 5 (cm ²)	Área 6 (cm ²)	Área 7 (cm ²)	Área 8 (cm ²)	Área 9 (cm ²)	Área 10 (cm ²)
1	TBJ1	16,039	14,521	14,396	13,204	13,096	11,896	11,562	10,620	9,222	7,928	7,300
2	TBJ2	14,738	14,288	13,885	12,664	12,389	10,012	9,850	8,268	7,214	7,003	6,818
3	TBJ3	15,148	14,835	14,805	12,430	11,986	10,657	9,700	4,894	3,520	3,324	2,560
4	TBJ4	14,555	14,492	13,648	11,880	8,785	5,315	-	-	-	-	-
5	TBJ5	17,280	16,279	15,744	15,238	14,033	13,022	10,370	10,178	8,537	6,808	6,638
6	TBJ6	14,321	14,212	12,089	11,344	11,239	10,962	9,888	3,811	3,610	2,155	1,955

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 12-3: Degradabilidad al ambiente.

N°	Tratamiento	Área Inicial (cm ²)	Área 1 (cm ²)	Área 2 (cm ²)	Área 3 (cm ²)	Área 4 (cm ²)	Área 5 (cm ²)	Área 6 (cm ²)	Área 7 (cm ²)	Área 8 (cm ²)	Área 9 (cm ²)	Área 10 (cm ²)
1	TBJ1	14,238	13,741	13,550	13,404	12,902	12,180	11,623	11,288	10,989	10,468	10,393
2	TBJ2	15,411	15,018	13,342	12,870	12,624	12,315	11,780	10,710	10,666	10,562	10,375
3	TBJ3	15,478	15,216	15,040	13,826	13,759	13,524	12,397	11,547	10,835	10,697	9,924
4	TBJ4	14,455	12,866	12,621	12,585	12,485	12,057	11,954	11,480	10,539	10,235	9,225
5	TBJ5	14,067	14,042	13,813	13,630	13,517	12,112	11,979	11,443	10,525	9,610	9,465
6	TBJ6	14,859	14,787	14,031	13,113	12,741	12,681	12,513	11,972	10,992	10,791	10,469

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.2. Cálculos

3.2.1. Almidón

3.2.1.1. Rendimiento de la extracción por vía húmeda

Para realizar el cálculo del rendimiento de obtención del almidón se utiliza la siguiente fórmula aplicada a cada una de las repeticiones:

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

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{34,994 \text{ g}}{408,000 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 8,577$$

3.2.1.2. Contenido de cenizas

Para el cálculo del contenido de cenizas del almidón y la materia prima se utiliza la siguiente fórmula en cada una de las repeticiones:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)}}{\text{Peso de la muestra de almidón seca (g)}} * 100$$

$$\% \text{Cenizas} = \frac{0,012 \text{ g}}{5,014 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{Cenizas} = 0,239$$

3.2.1.3. Índice de solubilidad de agua

Para el cálculo del índice de solubilidad de agua para el almidón y la materia prima se utiliza la siguiente fórmula aplicada en cada una de las repeticiones:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso solubles (g)} * \text{Volumen del sobrenadante (mL)} * 10/\text{mL}}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}}$$

$$ISA = \frac{0,002 \text{ g} * 28 \text{ mL} * 10/\text{mL}}{1,253 \text{ g}}$$

$$ISA = 0,447$$

3.2.2. *Óxido de grafeno*

3.2.2.1. *Rendimiento de la obtención de óxido de grafito*

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso del óxido de grafito (g)}}{\text{Peso del grafito en polvo (g)}} * 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{3,405 \text{ g}}{3,000 \text{ g}} * 100$$

$$\%Rendimiento = 113,500$$

3.2.2.2. *Rendimiento de la obtención de óxido de grafeno*

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso del óxido de grafeno (g)}}{\text{Peso del óxido de grafito (g)}} * 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{2,548 \text{ g}}{3,405 \text{ g}} * 100$$

$$\%Rendimiento = 74,831$$

3.2.3. *Bioplásticos*

3.2.3.1. *Porcentaje de solubilidad*

Para el cálculo del porcentaje de solubilidad del plástico biodegradable se aplicó la siguiente fórmula en cada una de las repeticiones de cada tratamiento:

$$\%Solubilidad = \frac{\text{Peso inicial seco (g)} - \text{Peso final seco (g)}}{\text{Peso inicial seco (g)}} * 100$$

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{0,399 \text{ g} - 0,254 \text{ g}}{0,399 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{Solubilidad} = 36,341$$

3.2.3.2. Porcentaje de permeabilidad

Para realizar el cálculo de la permeabilidad del plástico al vapor de agua se debe utilizar la siguiente fórmula en cada tratamiento, en sus 3 repeticiones:

$$\text{WVP} = \frac{(P2 - P1) * e}{t * pv * (\varphi2 - \varphi1)}$$

$$\text{WVP} = \frac{(34,953 \text{ g} - 34,875 \text{ g}) * 0,200 \text{ mm}}{24 \text{ h} * 0,0028 \text{ MPa} * (75 - 0)}$$

$$\text{WVP} = 0,003 \frac{\text{g} * \text{mm}}{\text{h} * \text{MPa}}$$

3.2.3.3. Porcentaje de degradabilidad

El porcentaje de degradabilidad es calculado en función de la pérdida de área que sufre cada tratamiento con el programa Image J en los distintos ambientes con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Degradabilidad} = \frac{\text{Área inicial (cm}^2\text{)} - \text{Área final (cm}^2\text{)}}{\text{Área inicial (cm}^2\text{)}} * 100$$

$$\% \text{Degradabilidad} = \frac{18,309 \text{ cm}^2 - 13,095 \text{ cm}^2}{18,309 \text{ cm}^2} * 100$$

$$\% \text{Degradabilidad} = 28,478$$

3.2.3.4. Cuadrado del error medio

$$\text{Mse} = \frac{\text{Suma de cuadrados dentro de los grupos}}{\text{Grados de libertad}}$$

$$\text{Mse} = \frac{24,590}{18}$$

$$Mse = 1,366$$

3.2.3.5. Diferencia honestamente significativa

$$HSD = \text{Multiplicador} * \sqrt{\frac{Mse}{n}}$$

$$HSD = 4,490 * \sqrt{\frac{1,366}{4}}$$

$$HSD = 2,624$$

3.3. Resultados

3.3.1. Almidón

3.3.1.1. Caracterización sensorial de la materia prima

Tabla 13-3: Análisis sensorial del jengibre.

Nº	CARACTERÍSTICAS		
	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	62,784	84,825	34,560

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Se realizó la caracterización física del jengibre utilizado en la experimentación, donde se procedió a medir su peso, longitud y diámetro, siendo previamente clasificadas, mediante los estándares de calidad de la materia prima.

3.3.1.2. Rendimiento de extracción por vía húmeda

Tabla 14-3: Extracción por vía húmeda

Nº	Producto	Rendimiento (%)
1	Almidón de Jengibre	8,286

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

El rendimiento de la extracción del almidón por vía húmeda en esta experimentación fue de 8,286% valor que se asemeja al expuesto por (Nivelo, 2021, p.46) de 8,395% correspondiente al tratamiento 2 de este mismo tipo de extracción, sin embargo, la diferencia existente se debería a

la materia prima utilizada en la experimentación, ya que sus muestras poseen un peso de 94,457 g, lo que daría como resultado mayor cantidad de almidón por cada repetición realizada.

3.3.1.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Tabla 15-3: Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas del jengibre.

Nº	Producto	Parámetro	Unidades	Valor	Estándar	Norma/Institución
1	Jengibre	Humedad	%	77,605	-	FAO
2		Ceniza	%	1,010	-	FAO
3		Solubilidad	%	12,210	-	FAO
4		pH	-	6,570	-	FAO
5		Fibra	%	5,370	-	SAQMIC
6		Proteína	%	4,760	-	SAQMIC
7		Viscosidad	cP	132,500	-	FAO
8		Hongos	UFC/g	0	Mín. 1×10^3 Máx. 1×10^4	SAQMIC
9		Levaduras y Mohos	UFC/g	20	Mín. 1×10^3 Máx. 1×10^4	SAQMIC
10		Coliformes Totales	UFC/g	560	Mín. 1×10^3 Máx. 1×10^4	SAQMIC

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 16-3: Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas del almidón.

Nº	Producto	Parámetro	Unidades	Valor	Estándar	Norma/Institución
1	Almidón de jengibre	Humedad	%	9,382	10-13	FAO
2		Ceniza	%	0,260	0,06-1,30	FAO
3		Solubilidad	%	0,340	0,27-12,32	FAO
4		pH	-	6,090	6-6,5	FAO
5		Viscosidad	cP	1450,800	840-1500	FAO
6		Temperatura de Gelatinización	°C	73	57,5-70	FAO
7		Amilosa	%	25,84	15-30	INIAP
8		Amilopectina	%	74,16	70-85	INIAP
9		Hongos	UFC/g	0	Mín. 1×10^3 Máx. 5×10^3	SAQMIC
10		Levadura y Mohos	UFC/g	<10	Mín. 1×10^3 Máx. 5×10^3	SAQMIC
11		Coliformes Totales	UFC/g	60	Mín. 2×10^5 Máx. 3×10^5	SAQMIC

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.3.2. Óxido de grafeno

3.3.2.1. Rendimientos de la sintetización

Tabla 17-3: Obtención del compuesto.

Nº	Rendimiento Proceso del Óxido de grafito (%)	Rendimiento Óxido de grafeno (%)
1	113,500	74,831

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Para la obtención del compuesto de interés se utilizó el método de hummers modificado y un grafito al 99.9% de pureza. El rendimiento del óxido de grafito supera el 100% porque al estar con impurezas, estos compuestos generados también pesan. Por otro lado, el rendimiento de 74,831% del óxido de grafeno obtenido demuestra que ha existido un valor elevado de oxidación del grafito, lo que permite verificar que el proceso presentado por (Tubon, 2015, pp.25-50) en su escrito es conveniente para obtener un buen rendimiento de este compuesto y recuperación del material usado.

3.3.2.2. Espectro Uv-vis

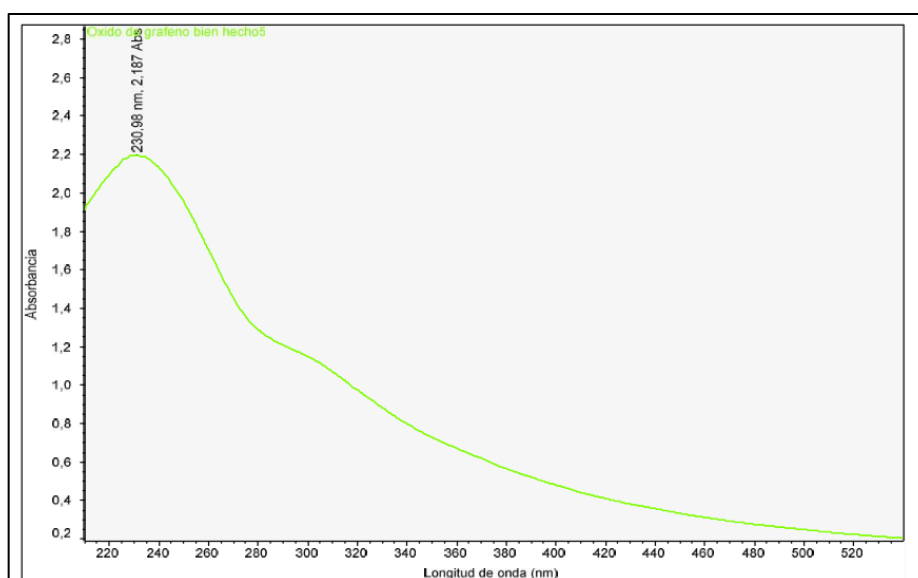


Gráfico 1-3: Espectro Uv-visible del OG.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Como se puede observar en la imagen el pico de absorbancia marca en 230,98 nm y uno alrededor de los 300 nm que permite identificar la presencia de grupos carbonilo, por tanto, al ir a bibliografía, en la literatura de (Marcano et al., 2010, p.5), se encuentra dentro del rango de oxidación de 227-231 nm, evidenciando de esta manera la presencia de óxido de grafeno. Además, se debe

tener en cuenta que el pico de más relevancia depende mucho del nivel de oxidación, pues a menor oxidación, existe mayor absorbancia del espectro visible y viceversa.

3.3.2.3. Espectro infrarrojo

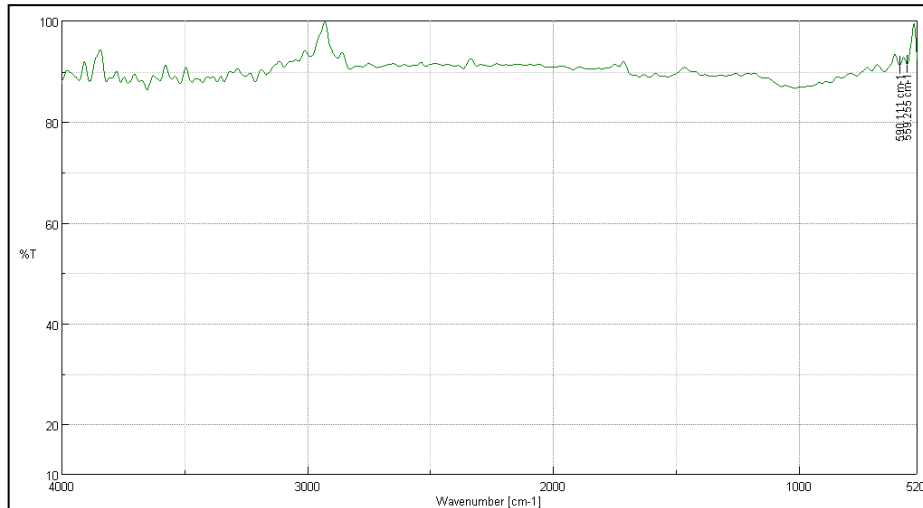


Gráfico 2-3: Espectro IR del grafito.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

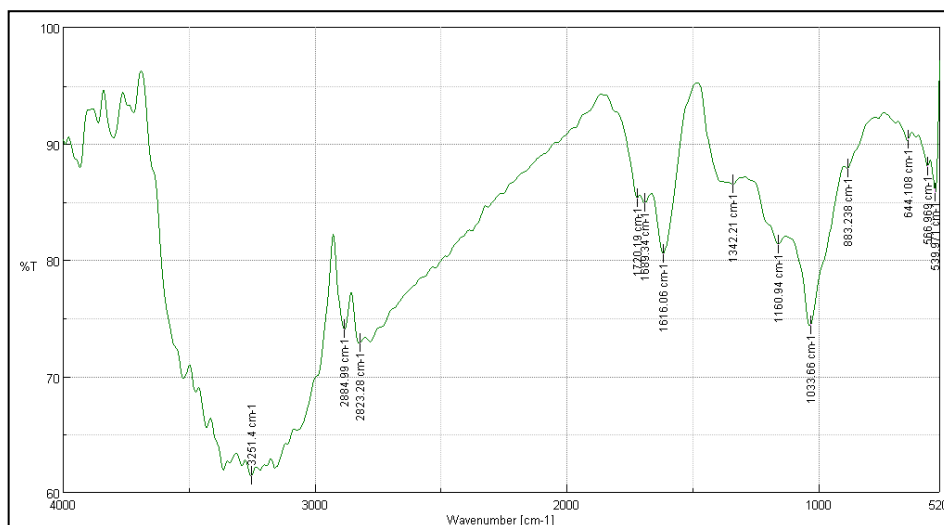


Gráfico 3-3: Espectro IR del OG.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Como se puede observar en el Gráfico 2-3 el grafito presenta una estructura casi lineal en cuanto al carbono, existe presencia de pequeñas vibraciones, pero esto se debe a alteraciones que pueda ocasionar el ambiente. Es decir, si lo comparamos con el Gráfico 3-3 es muy notoria la oxidación del grafeno, evidenciando de esta manera los grupos funcionales presentes: el pico de 2351 cm^{-1} , corresponde a vibraciones de estiramiento de los grupos -OH , en $2884,99\text{ cm}^{-1}$ perteneciente a

estiramientos de enlaces C-H o –CH₃ y –CH₂– en compuestos alifáticos, en los picos desde 1720,19 cm⁻¹ hasta 1616,06 cm⁻¹ se presentan enlaces C=O, ya sea vibraciones de estiramiento, aldehídos, ácidos carboxílicos o compuestos derivados y finalmente el rango de 883.238 cm⁻¹ que permite identificar el grupo epóxido. Por tanto, los resultados obtenidos se asemejan a los picos de la oxidación presentada por (Tubon, 2015, p.67), quien expone que los grupos funcionales presentes en la oxidación del grafeno son: hidroxilo, carboxilo y epóxido.

3.3.3. Bioplásticos

3.3.3.1. Análisis preliminar

Se elaboraron 4 repeticiones del blanco para poder comparar sus propiedades mecánicas con el plástico biodegradable obtenido al hacer uso del óxido de grafeno y evaluar el mejoramiento que el mismo genera.

Tabla 18-3: Evaluación preliminar blanco.

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
1	G4	R1	0,215	0,100	SI	SI	Transparente	SI
		R2	0,213	0,100	SI	SI	Transparente	SI
		R3	0,220	0,200	SI	SI	Transparente	SI
		R4	0,217	0,200	SI	SI	Transparente	SI

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 19-3: Evaluación preliminar del bioplástico con OG.

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
1	TBJ1	R1	0,526	0,200	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R2	0,523	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R3	0,524	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R4	0,529	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
2	TBJ2	R1	0,536	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R2	0,533	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R3	0,532	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
		R4	0,537	0,100	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
3	TBJ3	R1	0,524	0,200	SI	SI	Opaco	SI
		R2	0,525	0,200	SI	SI	Opaco	SI
		R3	0,524	0,200	SI	SI	Opaco	SI

		R4	0,536	0,100	SI	SI	Opaco	SI
4	TBJ4	R1	0,518	0,100	SI	SI	Opaco	SI
		R2	0,521	0,100	SI	SI	Opaco	SI
		R3	0,519	0,100	SI	SI	Opaco	SI
		R4	0,526	0,100	SI	SI	Opaco	SI
5	TBJ5	R1	0,562	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R2	0,525	0,200	SI	SI	Muy opaco	SI
		R3	0,534	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI
		R4	0,525	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI
6	TBJ6	R1	0,522	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI
		R2	0,521	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI
		R3	0,519	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI
		R4	0,517	0,100	SI	SI	Muy opaco	SI

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Como se puede observar en la tabla del análisis preliminar las películas formadas con óxido de grafeno presentan mayor peso frente a los plásticos provenientes del blanco, esto se debe a que el compuesto mencionado, permite compactar la película y rellenar los espacios intermoleculares que el material plástico posee, para así darle un mejoramiento en sus características que serán mencionadas posteriormente.

3.3.3.2. Pruebas físicas del plástico

Tabla 20-3: Ensayos físicos del bioplástico.

N°	Tratamiento	Espesor (mm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Permeabilidad ($\frac{g \cdot mm}{h \cdot MPa}$)
1	TBJ1	0,145	18,823	36,235	0,003
2	TBJ2	0,123	19,113	37,629	0,003
3	TBJ3	0,135	19,630	38,129	0,003
4	TBJ4	0,125	19,667	39,501	0,003
5	TBJ5	0,128	19,763	39,761	0,003
6	TBJ6	0,128	19,900	40,212	0,003

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Según los resultados obtenidos en las pruebas físicas del bioplástico tenemos en todos los tratamientos un espesor menor a 0,15 mm, valor que se encuentra dentro del rango admitido impuesto en la norma INEN 2542:2010 que menciona que las láminas plásticas no deben exceder un espesor de 0,2 mm. En cuanto al ensayo de humedad todos los valores se encuentran por debajo del rango establecido en la investigación de (Guamán, 2019, p.41), esto se debe a que, al

utilizar menor cantidad de óxido de grafeno con relación al ácido acético, disminuye la humedad presente en la película biodegradable.

Con respecto a la solubilidad y la permeabilidad según (Trujillo, 2014, pp. 75-87), los límites establecidos son: (14,84-60,96)% y $(0,03-0,374) \frac{g \cdot mm}{h \cdot MPa}$ respectivamente, lo que permite visualizar que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango permitido de un material plástico biodegradable. Cabe recalcar que los valores de solubilidad son mayores al expuesto por (Nivelo, 2021, p.47), es su investigación, y esto se debe a que el óxido de grafeno es un material bastante soluble, y la permeabilidad es menor porque al ser rellenados los espacios intermoleculares, con el compuesto antes mencionado, se convierte en una película con una membrana semi-impermeable.

3.3.3.3. Prueba de degradabilidad

Tabla 21-3: Ensayo de biodegradabilidad.

N°	Tratamiento	DEGRADABILIDAD (%)		
		Agua	Suelo	Ambiente
1	TBJ1	28,478	54,486	27,005
2	TBJ2	65,415	53,739	32,678
3	TBJ3	32,883	83,100	35,883
4	TBJ4	65,987	100,000	36,181
5	TBJ5	79,831	61,586	32,715
6	TBJ6	58,212	86,349	29,544

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

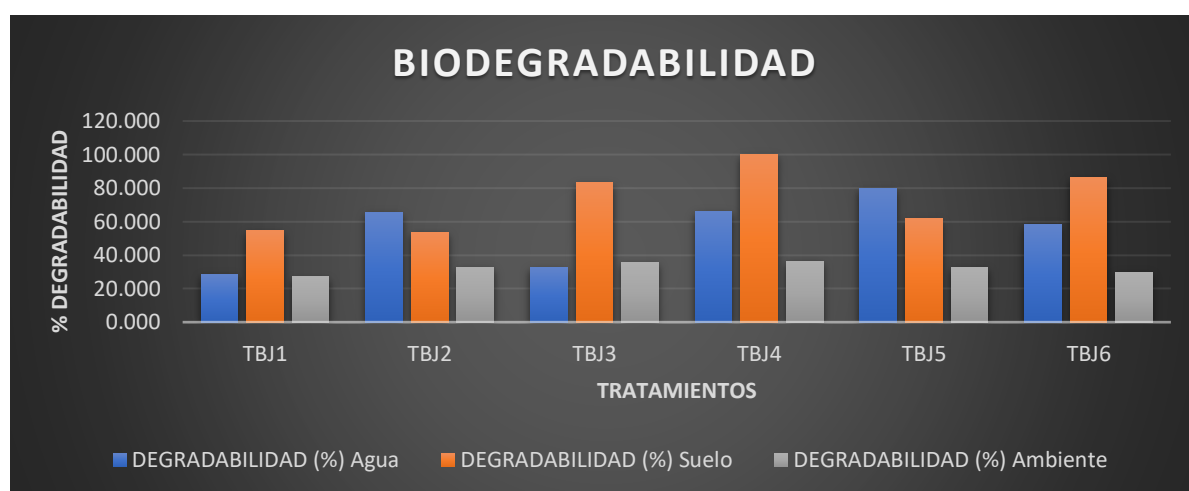


Gráfico 4-3: Biodegradabilidad en diferentes medios.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Como se puede evidenciar los resultados obtenidos en biodegradabilidad son favorables debido a que al ser una película plástica proveniente de una fuente natural como lo es el almidón de un

tubérculo, en este caso jengibre, permitirá disminuir el impacto ambiental. La degradabilidad según la norma INEN 2643:2012 debe llegar al 90% de la descomposición física del material compostable en un tiempo estimado de 6 meses y las películas biodegradables obtenidas ya han alcanzado hasta un 100% de descomposición en 30 días con respecto al tratamiento 4 y además que al ambiente este mismo tratamiento posee una degradabilidad de 36,181%. Por otro lado, en el ambiente acuoso se alcanzó una degradabilidad de 79,831%, en cuanto al tratamiento 5, valor que se encuentra dentro del rango establecido por (Meza et al., 2019, p. 77), de (50,6 – 64,21)%, con un tiempo determinado de 60 días.

3.3.3.4. Proyección del tiempo de biodegradabilidad

Tabla 22-3: Tiempo estimado de degradabilidad en diferentes medios.

Nº	Producto	Agua (días)	Suelo (días)	Ambiente (días)
1	Bioplástico de Almidón de Jengibre	50	41	93

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.3.3.5. Ensayos de tracción

Tabla 23-3: Pruebas mecánicas del blanco.

Nº	Tratamiento	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Carga (N)	Máximo Desplazamiento (mm)	Máximo Esfuerzo (MPa)	Máxima Deformación (%)	Rotura Carga (N)
1	Blanco	5,924	0,901	2,530	0,601	6,324	0,423

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Se procedió a realizar un análisis de varianza, que permite comparar las medias de diversos grupos entre sí, identificando de esta manera si existe o no una diferencia significativa entre estos y en los casos en los que se presentó dicha disparidad se evaluó con un análisis tukey, para así descartar los tratamientos que no generan mejoras y encontrar la formulación correcta, con los resultados más altos en lo que respecta a las características mecánicas del plástico biodegradable.

Tabla 24-3: Módulo elástico.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBJ1	4	123,101	30,775	161,585
TBJ2	4	143,027	35,757	427,479
TBJ3	4	83,049	20,762	62,860
TBJ4	4	251,661	62,915	645,817
TBJ5	4	310,575	77,644	1821,839
TBJ6	4	329,639	82,410	3053,711

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 25-3: ANOVA del módulo elástico.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	13564,533	5	2712,907	2,637	0,059	2,773
Dentro de los grupos	18519,876	18	1028,882			
Total	32084,409	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 26-3: Máxima carga.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBJ1	4	10,493	2,623	0,125
TBJ2	4	11,672	2,918	0,500
TBJ3	4	17,538	4,384	3,342
TBJ4	4	17,178	4,294	1,299
TBJ5	4	18,027	4,507	0,650
TBJ6	4	18,183	4,546	0,642

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 27-3: ANOVA de la máxima carga.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	15,069	5	3,014	2,757	0,051	2,773
Dentro de los grupos	19,674	18	1,093			
Total	34,742	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 28-3: Máximo desplazamiento.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBJ1	4	15,154	3,789	0,315
TBJ2	4	10,589	2,647	0,613
TBJ3	4	22,351	5,588	2,621
TBJ4	4	19,604	4,901	0,933
TBJ5	4	23,755	5,939	1,418
TBJ6	4	18,004	4,501	2,296

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 29-3: ANOVA del máximo desplazamiento.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	29,322	5	5,864	4,293	0,010	2,773
Dentro de los grupos	24,590	18	1,366			
Total	53,912	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

– Análisis tukey para el máximo desplazamiento

Tabla 30-3: Máximo desplazamiento análisis tukey.

	TBJ1	TBJ2	TBJ3	TBJ4	TBJ5	TBJ6
TBJ1		1,141	-1,799	-1,113	-2,150	-0,713
TBJ2			-2,940	-2,254	-3,292	-1,854
TBJ3				0,687	-0,351	1,087
TBJ4					-1,038	0,400
TBJ5						1,438
TBJ6						

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 31-3: Máximo esfuerzo.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBJ1	4	6,037	1,509	0,178
TBJ2	4	8,863	2,216	0,414
TBJ3	4	6,822	1,705	0,293
TBJ4	4	11,452	2,863	0,577
TBJ5	4	9,348	2,337	1,461
TBJ6	4	12,122	3,030	0,285

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 32-3: ANOVA del máximo esfuerzo.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7,338	5	1,468	2,744	0,052	2,773
Dentro de los grupos	9,629	18	0,535			
Total	16,967	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 33-3: Máxima deformación.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBJ1	4	37,885	9,471	1,971
TBJ2	4	26,472	6,618	3,830
TBJ3	4	55,877	13,969	16,381
TBJ4	4	49,013	12,253	5,837
TBJ5	4	59,388	14,847	8,863
TBJ6	4	45,010	11,253	14,351

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 34-3: ANOVA de la máxima deformación.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	183,273	5	36,655	4,293	0,010	2,773
Dentro de los grupos	153,696	18	8,539			
Total	336,970	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

– Análisis tukey para la máxima deformación

Tabla 35-3: Máxima deformación análisis tukey.

	TBJ1	TBJ2	TBJ3	TBJ4	TBJ5	TBJ6
TBJ1		2,853	-4,498	-2,782	-5,376	-1,781
TBJ2			-7,351	-5,635	-8,229	-4,635
TBJ3				1,716	-0,878	2,717
TBJ4					-2,594	1,001
TBJ5						3,594
TBJ6						

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 36-3: Máxima carga de rotura.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
TBJ1	4	3,203	0,801	0,135
TBJ2	4	2,119	0,530	0,000
TBJ3	4	2,218	0,554	0,000
TBJ4	4	4,308	1,077	0,193
TBJ5	4	2,715	0,679	0,037
TBJ6	4	2,628	0,657	0,053

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 37-4: ANOVA de la máxima carga de rotura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,812	5	0,162	2,326	0,085	2,773
Dentro de los grupos	1,257	18	0,070			
Total	2,070	23				

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 38-3: Pruebas mecánicas con óxido de grafeno.

Nº	Tratamiento	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Carga (N)	Máximo Desplazamiento (mm)	Máximo Esfuerzo (MPa)	Máxima Deformación (%)	Rotura Carga (N)
1	TBJ1	30,775	2,623	3,789	1,509	9,471	0,801
2	TBJ2	35,757	2,918	2,647	2,216	6,618	0,530
3	TBJ3	20,762	4,384	5,588	1,705	13,969	0,554
4	TBJ4	62,915	4,294	4,901	2,863	12,253	1,077
5	TBJ5	77,644	4,507	5,939	2,337	14,847	0,679
6	TBJ6	82,410	4,546	4,501	3,030	11,253	0,657

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Los resultados obtenidos del análisis ANOVA permiten establecer que para las características de módulo elástico, máxima carga, máximo esfuerzo y máxima carga de rotura no existe una diferencia significativa entre grupos, debido a que el valor de la probabilidad se encuentra por encima del valor correspondiente al 95% de confiabilidad, lo que representa que para estos parámetros cualquier tratamiento es apto. Por otro lado, en el máximo desplazamiento y la máxima deformación si existió dicha diferencia debido a que el valor de la probabilidad se

encontró por debajo del 0,05 de significancia , entonces se realizó un análisis tukey para descartar los tratamientos que tenían los datos más alejados entre cada repetición, los cuales fueron : el TBJ2, TBJ3 y TBJ5. Es por esto por lo que, en base a las pruebas estadísticas realizadas, se puede definir que el TBJ4 es el mejor tratamiento debido a que posee un 4,901 mm de desplazamiento máximo y 12,253% de deformación máxima. Además, estas mismas propiedades al hacer uso del óxido de grafeno mejoran en un 93,715% y 93,754% a las obtenidas en el blanco del bioplástico, respectivamente.

3.3.3.6. Valoración económica

Tabla 39-3: Insumos de la producción de almidón.

Nº	Producto	Valor invertido (\$)
1	Jengibre	48,400
2	Agua destilada	17,810

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 40-3: Insumos de la producción de óxido de grafeno seco.

Nº	Producto	Valor invertido (\$)
1	Grafito	15,000
2	Agua destilada	0,429
3	Permanganato de Potasio	3,271
4	Ácido Sulfúrico	1,056
5	Ácido Clorhídrico	0,255
6	Peróxido de Hidrógeno	0,479
7	Aceite de cocina	1,000
8	Hielo	0,740
9	Caracterizaciones	100,000

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 41-3: Insumos de la producción de óxido de grafeno en solución.

Nº	Producto	Valor invertido (\$)
1	Agua destilada	0,660

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 42-3: Precios por gramo de producto.

Nº	Producto	Costo de Producción \$/g
1	Almidón	0,073
2	Óxido de Grafeno (seco)	47,971
3	Óxido de Grafeno (solución)	48,630

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

Tabla 43-3: Costos de producción de las láminas de plástico.

Nº	Tratamiento	Costo de Producción (\$)
1	TBJ1	0,275
2	TBJ2	0,300

3	TBJ3	0,324
4	TBJ4	0,348
5	TBJ5	0,373
6	TBJ6	0,397

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.4. Prueba de Hipótesis

3.4.1. General

El óxido de grafeno cumplió una función muy importante en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradables obtenidas de jengibre (*Zingiber officinale*), debido a que este compuesto rellenó los espacios intermoleculares existentes y aportó mayor rigidez al material plástico, presentando de esta manera mejoras en todas sus propiedades mecánicas como se puede observar en la Tabla 38-3, en comparación con los resultados del blanco presentes en la Tabla 29-3.

3.4.2. Específica 1

Como se puede observar en la Tabla 38-3 de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido, todas las cantidades agregadas de óxido de grafeno se consideran buenas para mejorar estas características, sin embargo, para evaluar los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza y tukey para descartar los tratamientos que poseían diferencias significativas entre repetición y encontrar de esta forma la cantidad óptima de adición del compuesto mencionado.

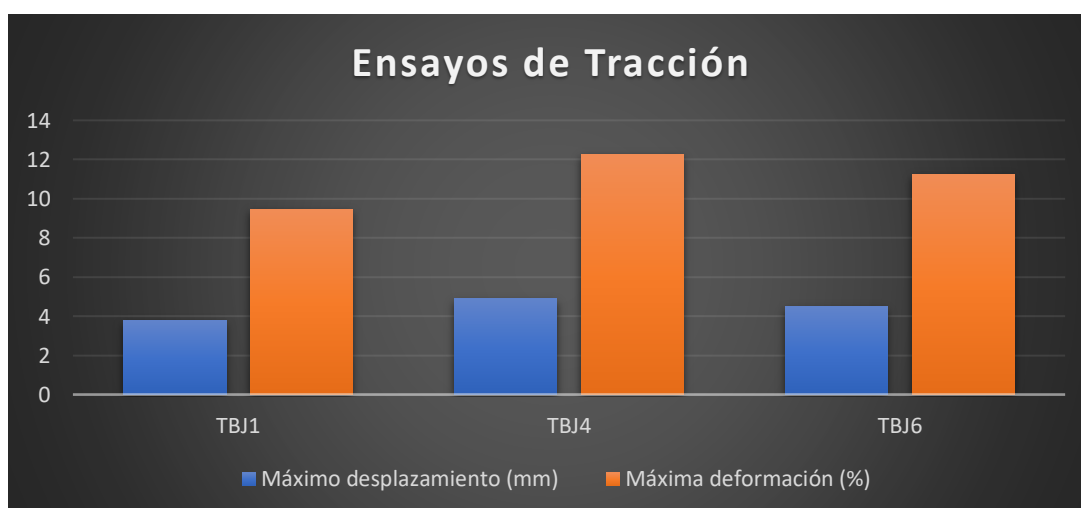


Gráfico 5-3: Resultados de la clasificación de los ensayos de tracción.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.4.3. Específica 2

Al evaluar los ensayos físicos realizados como: espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad permitirán identificar el mejor bioplástico obtenido, y su vez, las propiedades mecánicas de módulo elástico, máxima carga, esfuerzo, desplazamiento, deformación y carga de rotura permitieron hallar la película de plástico biodegradable que presente mayores mejoras en cuando a todas las características antes mencionadas. Dichos resultados pueden verse reflejados en la Tabla 26-3 y Tabla 38-3.

3.4.4. Específica 3

La pérdida de área ocasionada al exponer las láminas de plástico en los diferentes medios como agua, suelo y ambiente permiten identificar el tiempo de degradación en el que el bioplástico será degradado en su totalidad. Por tanto, con los resultados obtenidos en la Tabla 28-3, se puede determinar que, con la exposición en suelo, se logrará una degradabilidad más rápida y al ambiente comprenderá mayor tiempo en perder su área por completo.

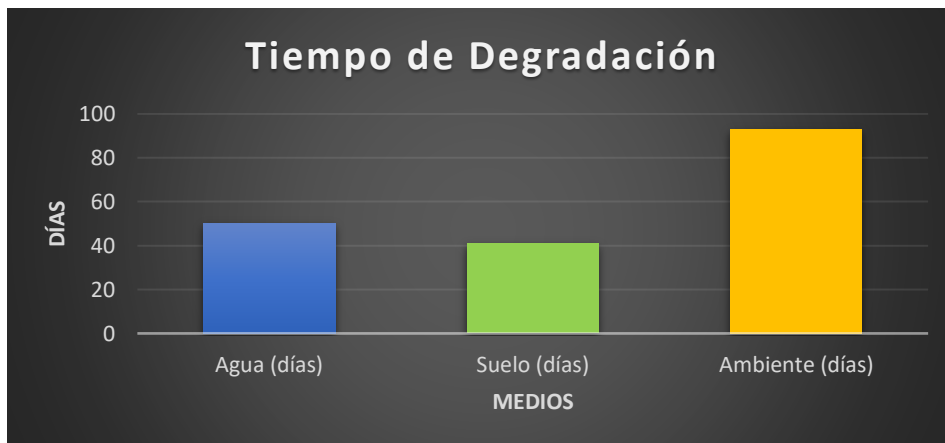


Gráfico 6-3: Tiempo de degradación en diferentes medios.

Realizado por: Caicedo Duarte, Milena, 2022.

3.4.5. Específica 4

Es posible cuantificar el costo de producción del bioplástico de almidón de jengibre (*zingiber officinale*), realizando una valoración económica, como se puede observar desde la Tabla 39-3 y la Tabla 43-3, en donde han sido considerados los precios de la materia prima, el costo de producción del almidón y de la sintetización del óxido de grafeno en seco y solución, que son los aditivos utilizados en la elaboración del plástico biodegradable.

CONCLUSIONES

- Se evidenció el mejoramiento existente debido a la adición del óxido de grafeno en la composición del plástico obtenido, realizando las pruebas mecánicas al blanco, en donde las láminas biodegradables con óxido en el módulo elástico aumentan en 76,486 MPa , en la máxima carga 3,644 N , en el máximo desplazamiento 2,372 mm, el esfuerzo máximo con 2,430 Mpa , en la elongación máxima con 5,929% y la carga de rotura máxima 0,654 N.
- Se identificó que la cantidad óptima de óxido de grafeno a utilizar es la correspondiente al TBJ4, a través de un análisis de varianza para las pruebas mecánicas, donde las únicas propiedades que permiten evidenciar diferencias significativas entre tratamientos son el máximo desplazamiento y la máxima deformación que mejoran en un 93,715% y 93,754% respectivamente.
- Se caracterizó física y mecánicamente el material obtenido para cada tratamiento, con un espesor promedio menor a 0,15 mm, valor que se encuentra dentro de rango establecido por la norma INEN 2542:2010, prueba de humedad con 18,283% de menor porcentaje para TBJ1, ensayo de solubilidad con mayor resultado para el TBJ6 de 40,212%, prueba de permeabilidad que no difiere entre tratamientos con $0,003 \frac{\text{g}\cdot\text{mm}}{\text{h}\cdot\text{MPa}}$. Además, en las propiedades mecánicas con un 4,901 mm de máximo desplazamiento y 12,253% de elongación máxima para el TBJ4.
- Se determinó el tiempo de degradación de los plásticos obtenidos mediante la evaluación de la disminución del área. A los 30 días se observó que el medio en el que se degradó más rápido fue el suelo con 73,210%, luego en agua con 43,134% y en ambiente con 32,244%, demostrando así que los tiempos de estimación para su completa biodegradabilidad son de 41 días, 50 días y alrededor de 3 meses, respectivamente para cada ambiente.
- Se cuantificó el costo de producción del bioplástico de almidón de jengibre (*Zingiber officinale*) mediante una valoración económica de sus aditivos como lo son: el almidón de \$0,073 y el óxido de grafeno en solución de \$48,630. Entonces, la producción de 310,80 cm² del tratamiento 4 estarían valorados en \$0,348.

RECOMENDACIONES

- En el proceso de extracción del almidón por vía húmeda, se genera gran cantidad de residuos, por lo que se sería conveniente hacer uso de este como material para compostaje o bien llevarlo a otro proceso industrial donde su finalidad sea convertirlo en condimento de alimentos.
- Al pelar el jengibre este tiende a oxidarse a lo minutos es por lo que, es recomendable colocar los trozos de materia prima en un recipiente con solución de ácido ascórbico y licuar lo más prontamente posible.
- Al llevar a biodegradabilidad en agua a las películas de plástico biodegradable es recomendable utilizar bastante cantidad de agua, debido a que las películas se hidratan y posteriormente empiezan a descomponerse y también se debe humedecer la tierra en la que se ubicaron a degradar.
- Cuando se sintetiza el óxido de grafeno en los lavados, se generan residuos que aun contienen el compuesto de interés, se recomienda almacenarlos, realizar un análisis UV-Vis para identificar la existencia del compuesto y encontrar una posibilidad de recuperar óxido de estos residuos para no desperdiciar material.

BIBLIOGRAFÍA

AGAMA, E; et.al. “Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis”. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos Del IPN [en línea], 2016, (México) 47(1), pp. 2-3. [Consulta: 05 diciembre 2021]. ISSN 62731. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a1.pdf>

AMAYA, J. “Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico”. Revista Colombiana de Química [en línea], 2018, (Colombia) 48(1), pp. 3-5. [Consulta: 09 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>

ARISTIZÁBAL, J; & SÁNCHEZ, T. “Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca”. FAO [en línea], 2007, (Italia) 163(1), pp. 76-106. [Consulta: 28 diciembre 2021]. ISSN 1020-4334. Disponible en: <https://doi.org/9253056770-9789253056774>

ASTDM D1653-93. *Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico.*

ATIWESH, G; et.al. “Environmental impact of bioplastic use: A review”. Heliyon [en línea], 2021, (United Kingdom) 7(9), pp. 2-4. [Consulta: 23 noviembre 2021]. ISSN 24058440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918>

BEHERA, L; et.al. “Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application”. Environmental Technology & Innovation [en línea], 2021, (Netherlands) 10(21), pp. 3-4. [Consulta: 29 noviembre 2021]. ISSN 0893-6080. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>

BERMEJO, F. *Propiedades mecánicas de los tornillos* [blog]. WordPress, 2016. [Consulta: 02 diciembre 2021]. Disponible en: <https://fbermejo.files.wordpress.com/2010/02/propiedades-mecanicas.pdf>

BRITO, H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II* [en línea]. Riobamba- Ecuador: Researchgate, 2001. [Consulta: 07 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315778840_Texto_Basico_Operaciones_Unitarias_II

BRITO, H. *Texto básico de operaciones unitarias III* [en línea]. Riobamba- Ecuador: Researchgate, 2017. [Consulta: 07 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673664_TEXTO_BASICCO_DE_OPERACIONES_UNITARIAS_III

BRITO, H; & CHUIZA, M. “Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de *arracacia xanthorrhiza*”. *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2020, (Ecuador) 6(2), pp. 6-12. [Consulta: 24 noviembre 2021]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1261>

CAMARGO, R; & SEVILLA, M. “Chemical functionalization method to obtain graphene oxide adhered to the surface of high-density pyrolytic graphite plates by acid spray coating”. *Ingeniería y Competitividad* [en línea], 2021, (Colombia) 3(2), pp. 3-4. [Consulta: 11 diciembre 2021]. ISSN 0123-3033. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/iyv.v23i2.10838>

CHARRO, M. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2015. pp. 15-17. [Consulta: 2021-11-28]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

CONSEJO COLOMBIANO DE SEGURIDAD. *Hoja de Datos de Seguridad, Permanganato de Potasio* [blog]. Software Dataquim, 2003. [Consulta: 17 diciembre 2021]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia21.pdf>

CUADRADO, E. Diseño de un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de camote (*Ipomoea batatas L.*) para su uso alimenticio (Trabajo de titulación). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 20-21. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10790/1/96T00529.pdf>

CYRUS, M. “Plastic World”. *Current Biology* [en línea], 2019, (United Kingdom) 29 (85), pp. 1-2. [Consulta: 23 noviembre 2021]. ISSN 942-945. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.019>

DELAHAYE, E; & TECHEIRA, N. “Propiedades Químicas y Funcionales del Almidón Nativo y de Ñame (*Dioscorea alata*)”. *Interciencia* [en línea], 2009, (Venezuela) 34(4), pp. 1-2.

[Consulta: 05 diciembre 2021]. ISSN 0378-1844. Disponible en: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/280-c-TECHEIRA-6.pdf>

DEPARTMENT OF HEALTH. *Hoja Informativa sobre Cloruro de Hidrógeno* [blog]. New Jersey Department of Health, 2010. [Consulta: 20 diciembre 2021]. Disponible en: <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1012sp.pdf>

DEPARTMENT OF HEALTH. *Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas Descripción y uso* [blog]. New Jersey Department of Health, 2011. [Consulta: 20 diciembre 2021]. Disponible en: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1594sp.pdf>

DIRECCIÓN GENERAL DEL DESARROLLO MINERO. *Perfil de Mercado del Grafito* [en línea]. México. Subsecretaría de Minería, 2017. [Consulta: 13 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287801/Perfil_Grafito_2017.pdf

ESTEVE, A. “Jengibre”. *Guía de Plantas Medicinales Del Magreb* [en línea], 2021, (España), pp. 1–3. [Consulta: 04 diciembre 2021]. ISSN 1996; 53:2715. Disponible en: <http://esteven.org/wp-content/uploads/2018/01/13440.pdf>

FARÍAS, L; et.al. “Grafeno, el material del futuro”. *Ciencia Cierta* [en línea], 2017, (México) 2 (50), pp. 2-5. [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/cc50/grafeno.pdf>

FLORES, M; & PATIÑO, B. Variación de la composición química de los aceites esenciales de hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) y jengibre (*zingiber officinale*) en función de las condiciones ambientales y del tipo de suelo de la zona de cultivo en las provincias de esmeraldas, Manabí, Santo domingo, Pichincha, Imbabura, Carchi, Sucumbíos y Napo (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería en Biotecnología. Quito-Ecuador. 2016. p. 20. [Consulta: 2021-12-04]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12563/1/UPS-QT10291.pdf>

FLURRY, M; & NARAYAN, R. “Biodegradable plastic as an integral part of the solution to plastic waste pollution of the environment”. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [en línea], 2021, (Netherlands) 30(1), p.3. [Consulta: 09 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100490>

GUADRÓN, E. Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (*Musa sp. Variedad cuadrado*) para su uso en la industria de alimentos (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad del Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos. Buenos Aires- Argentina. 2013. p. 80. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: [https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927/1/Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir del guineo majoncho verde %28musa sp.variedad cuadrado%29%2C para su uso en la industria de alimentos.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927/1/Diseño_y_desarrollo_del_proceso_para_la_extracción_de_almidón_a_partir_del_guineo_majoncho_verde_%28musa_sp.variedad_cuadrado%29%2C_para_su_uso_en_la_industria_de_alimentos.pdf)

GUAMÁN, J. Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial (Trabajo de Titulación). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2019. p. 41. [Consulta: 2022-03-07]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

HERNÁNDEZ, M; et. al. “Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México”. Ciencia y Tecnología de Alimentos [en línea], 2008, (Brasil) 28(3), p. 2. [Consulta: 05 diciembre 2021]. ISSN 0101-2061. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNJk9Yf/?lang=es&format=pdf>

HORTON, A. “Plastic pollution: When do we know enough?”. Journal of Hazardous Materials [en línea], 2022, (Netherlands) 422(1), p.2. [Consulta: 09 marzo 2022]. ISSN 03043894. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126885>

HURTADO, J. Estudio del almidón modificado de banano (*M. sapientum L.*) Variedad Cavendish obtenido por acetilación (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Ingeniería en Alimentos. Machala-Ecuador. 2019. pp. 19-21. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14181/1/T-2900_HURTADO JIMENEZ JHANELA ELIZABETH.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14181/1/T-2900_HURTADO_JIMENEZ_JHANELA_ELIZABETH.pdf)

INEN 2542:2010. *Láminas Plásticas. Requisitos.*

INEN 2635. *Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas.*

INEN 2643:2012. *Especificación para plásticos compostables.*

INNOTEC. “Revista anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay”. Innotec [en línea], 2009, (Uruguay) 1(4), p.3. [Consulta: 21 diciembre 2021]. ISSN 1510-6593. Disponible en: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1442

KEHINDE, O; et.al. “Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria”. Heliyon [en línea], 2020, (United Kingdom) 6(10), pp.2-3. [Consulta: 23 noviembre 2021]. ISSN 24058440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05131>

LEON, M. *Ácido Sulfúrico-Ficha técnica* [blog]. Report, 2018. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia4.pdf>

LLACSA, J. Plásticos Sintéticos (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Puno-Perú. 2021. p.6. [Consulta: 2021-11-28]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/269508943/PLASTICOS-SINTETICOS>

LÓPEZ, D. *Solubilidad* [blog]. Web Colegios, 2015. [Consulta: 01 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.webcolegios.com/file/0cc8d6.pdf>

MARCANO, D; et. al. “Improved Synthesis of Graphene Oxide”. Acsnano [en línea], 2010, (United States of America) 4(8), p.5. [Consulta: 04 marzo 2022]. ISSN 4806–4814. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/nn1006368>

MÁRQUEZ, B. Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Arequipa-Perú. 2014. p. 10. [Consulta: 08 diciembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARVDASHTI, L; et. al. “*Alyssum homolocarpum* seed gum-polyvinyl alcohol biodegradable composite film: Physicochemical, mechanical, thermal and barrier properties”. Carbohydrate Polymers [en línea], 2017, (United Kingdom) 155(1), pp. 1-3. [Consulta: 09 marzo 2022]. ISSN 01448617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.123>

MEZA, P; et. al. “Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad-Proyecto de Laboratorio”. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM [en línea], 2019,

(Perú) 22(43), p. 77. [Consulta: 08 marzo de 2022]. ISSN-L 1561-0888. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16691>

NIVELLO, B. Obtención de un plástico biodegradable a partir del almidón de jengibre (*Zingiber officinale*) para su uso en el embalaje de alimentos (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 27-68.

OLIVA, A; et.al. “¿Podemos conocer el espesor real de las capas delgadas metálicas?”. Ingeniería Revista Académica [en línea], 2010, (México) 2(2), p.3. [Consulta: 01 diciembre 2021]. ISSN 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46715068001.pdf>

OSCULLO, Á. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de jengibre (*Zingiber officinale Roscoe*) variedad hawaiana, en San Lorenzo provincia de Esmeraldas (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad San Francisco de Quito, Departamento de Agroempresas. Quito-Ecuador. 2011. pp. 6-21. [Consulta: 2021-12-03]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1237/1/101833.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 (Trabajo de titulación). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química. Riobamba- Ecuador. 2019. pp. 24-25. [Consulta: 06 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13808/1/96T00573.pdf>

PONCE, J; & ZAMBRANO, D. Estudio de comercialización e industrialización en el uso de polímeros vegetales para la elaboración de plásticos biodegradables (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad San Francisco de Quito, Administración de Empresas. Quito-Ecuador. 2019. p. 19. [Consulta: 2021-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8627/1/144282.pdf>

RODRÍGUEZ, E. “Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas”. Ra Ximhai [en línea], 2011, (México) 7(1), p.14. [Consulta: 01 diciembre 2021]. ISSN 1665-0441. Disponible en: <https://doi.org/10.35197/rx.07.01.2011.14.er>

ROMERO, J. *Agua Destilada* [blog]. Scribd, 2011. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/446780119/Agua-destilada>

ROSELLA, M; et. al. “Jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe, *Zingiberaceae*): Etnofarmacognosia, Cultivo, Composición Química y Farmacología”. *Acta Farm. Bonaerense* [en línea], 1996, (Argentina) 15(1), p. 4. [Consulta: 05 diciembre 2021]. ISSN 0326-2383. Disponible en: http://www.latamjpharm.org/trabajos/15/1/LAJOP_15_1_2_1_90QQX1W51C.pdf

RUIZ, M; et.al. “Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz”. *Información Tecnológica* [en línea], 2013, (Chile) 24(2), p. 2. [Consulta: 02 diciembre 2021]. ISSN 07168756. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>

RUIZ, O. *Plastificantes* [blog]. Scribd, 2020. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/91973024/Plastificantes>

SALGADO, F. “El jengibre (*Zingiber officinale*)”. *Revista Internacional de Acupuntura* [en línea], 2017, (España) 5(4), pp. 1-6. [Consulta: 03 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-acupuntura-279-articulo-el-jengibre-zingiber-officinale--X1887836911933730>

SECRETARÍA DE AGROINDUSTRIA. *Nutrición y Educación Alimentaria Ficha N° 60 Jengibre* [blog]. Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2017. [Consulta: 04 diciembre 2021]. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Marco_Regulatorio/ultimas_modificaciones/Capitulo_XVI.pdf

SHAMS, M; et.al. “Plastic pollution during COVID-19: Plastic waste directives and its long-term impact on the environment”. *Environmental Advances* [en línea], 2021, (United Kingdom) 5(1), p.3. [Consulta: 09 marzo 2021]. ISSN 10930191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100119>

SULBARÁN, A; et. al. “Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente”. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas* [en línea], 2018, (Colombia) 47(2), pp. 7-8. [Consulta: 10 diciembre 2021]. ISSN: 0034-7418. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n2.73969>

TOBARRA, A. *Instrucciones de uso Medidor de humedad para tierra* [blog]. PCE Ibérica, 2018. [Consulta: 24 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/manuales/manual-balanza-humedad-pce-mb.pdf>

TORRES, A; et. al. “Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*)”. Revista Ciencias e Ingeniería Al Día [en línea], 2013, (Colombia) 8(2), p. 4. [Consulta: 07 diciembre 2021]. ISSN 2357–5409. Disponible en: www.revistaciad.org

TRUJILLO, C. Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Mahinot Esculenta Crantz*) doblemente modificado para su uso en empaque de alimentos (Trabajo de titulación). [En línea] Universidad Nacional Amazónica Madre de Dios, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Industrial. Puerto Maldonado-Perú. 2014. pp. 75-87. [Consulta: 2021-03-08]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UN>

TUBON, G. Physical and chemical treatments to prepare graphene materials and their related applications (Trabajo de titulación) (Doctorado). [En línea] University of Calabria, Departamento de Física. (Rende-Italia). 2015. pp. 25-80. [Consulta: 29 diciembre 2021]. Disponible en: [https://dspace.unical.it/bitstream/handle/10955/1377/Gabriela Tubon- Final Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unical.it/bitstream/handle/10955/1377/Gabriela_Tubon-Final_Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

VARGAS, G; et. al. “Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación”. Scientia Agropecuaria [en línea], 2016, (Perú) 7(3), p.3. [Consulta: 09 marzo 2022]. ISSN 20779917. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>

VASSEGHIAN, Y; et.al. “Graphene derivatives in bioplastic: A comprehensive review of properties and future perspectives”. Chemosphere [en línea], 2022, (United Kingdom) 286(1), p.2. [Consulta: 29 enero 2022]. ISSN 18791298. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131892>

VAZQUEZ, A; et. al. “Bioplásticos y plásticos degradables”. Anipac [en línea], 2016, (México) 2(8), pp.3-6. [Consulta: 29 noviembre 2021]. ISSN 4241. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1294.4241>

WU, Z; et. al. “Physical properties and structural characterization of starch/polyvinyl alcohol/graphene oxide composite films”. International Journal of Biological Macromolecules [en línea], 2019, (Netherlands) 123(1), p.4. [Consulta: 09 marzo 2022]. ISSN 01418130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.071>

ANEXOS

ANEXO A

EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE JENGIBRE POR VÍA HÚMEDA



a.



b.



c.



d.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA	EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HÚMEDA		
a. Remoción de la cáscara de jengibre. b. Pesaje y troceado de la materia prima. c. Etapa de filtración d. Etapa de decantación.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información			<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	LÁMINA	ESCALA
			1	1:1	2022/03/03	

CONTINUACIÓN ANEXO A
EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE JENGIBRE POR VÍA HÚMEDA



NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA			
<p>e. Etapa de secado del almidón.</p> <p>f. Proceso de molienda.</p> <p>g. Tamizaje.</p> <p>h. Pesaje del almidón final obtenido.</p>			EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HÚMEDA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA	
		<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA	1	1:1	2022/03/03

ANEXO B
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA



a.



b.



c.



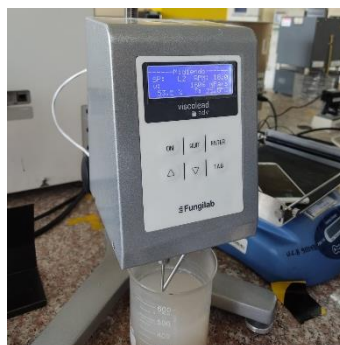
d.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA			CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA			
a.	Prueba de temperatura de gelatinización del almidón.		<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	LÁMINA	ESCALA	FECHA		
b.	Prueba de humedad del almidón.				ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA			1	1:1
c.	Medición de pH del almidón y materia prima.								
d.	Prueba de cenizas del almidón.								

CONTINUACIÓN ANEXO B
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA



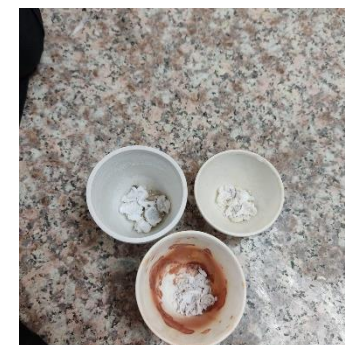
e.



f.



g.



h.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN Y LA MATERIA PRIMA		
e.	Ensayo de solubilidad.			<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar	LÁMINA
f.	Prueba de viscosidad.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar	1	1:1	2022/03/03
g.	Prueba de humedad de la materia prima.	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar			
h.	Prueba de cenizas de la materia prima.					

ELABORADO POR:
CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA

ANEXO C

SÍNTESIS DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO



a.



b.



c.



d.

NOTAS:		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	SÍNTESIS DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO		
<p>a. Síntesis del óxido de grafito.</p> <p>b. Lavados con HCl y agua.</p> <p>c. Proceso de secado (solución con óxido de grafito y óxido de grafeno).</p> <p>d. Caracterización de las láminas.</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/03/03

CONTINUACIÓN ANEXO C
SÍNTESIS DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO



e.



f.



g.



h.

NOTAS:	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA	SÍNTESIS DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO		
<p>e. Síntesis del óxido de grafito.</p> <p>f. Proceso de sonicación.</p> <p>g. Óxido de grafeno en solución.</p> <p>h. Óxido de grafeno seco.</p>			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/03/03

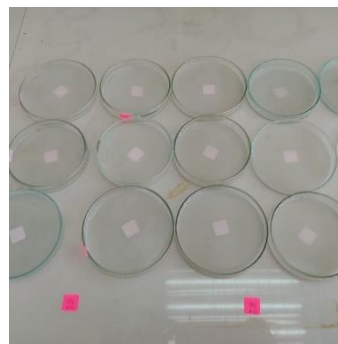
ANEXO D
ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



a.



b.



c.



d.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO					
			LÁMINA	ESCALA	FECHA			
<p>a. Adición de reactivos.</p> <p>b. Elaboración del plástico biodegradable.</p> <p>c. Proceso de secado del bioplástico a temperatura ambiente.</p> <p>d. Obtención de la lámina biodegradable.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p>	<p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA</p>			1	1:1	2022/03/03

ANEXO E
CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO



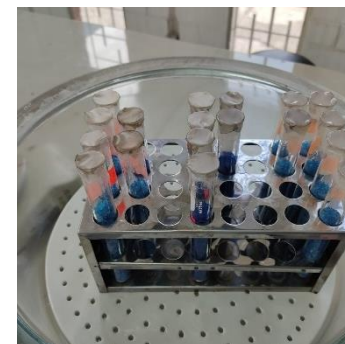
a.



b.



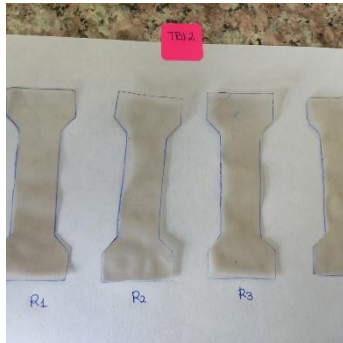
c.



d.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA			CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO		
a. Medición del espesor. b. Ensayo de humedad. c. Ensayo de solubilidad. d. Ensayo de permeabilidad.			ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/03/03			

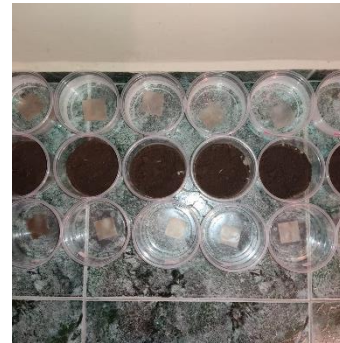
ANEXO F
CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL BIOPLÁSTICO



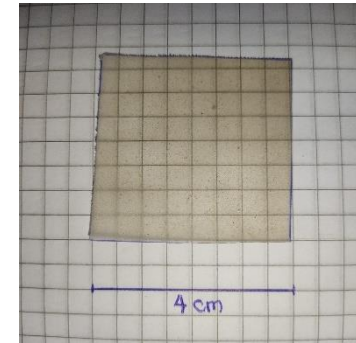
a.



b.



c.



d.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO			
<p>a. Elaboración de las probetas.</p> <p>b. Equipo para pruebas mecánicas.</p> <p>c. Prueba de degradabilidad en distintos ambientes.</p> <p>d. Medición del área para degradabilidad.</p>			<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	
			ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA			
			CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL BIOPLÁSTICO			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA	
			1	1:1	2022/03/03	

ANEXO H

PRUEBA MECÁNICA DEL BLANCO Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Forma: Plana

Unidades	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm
	1000	15,000	40,000

Nombre	M. Elástico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parámetro	1,7 N	0,1 % FFS	0,1 % FFS	0,1 % FFS	0,1 % FFS
Acep. Rech.	0,0	N	mm	MPa	%
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2035:2012	1,624	--	--	--	--
Media	1,624	--	--	--	--
Desviación Estándar	0,000	--	--	--	--
Máximo	1,624	--	--	--	--
Mínimo	1,624	--	--	--	--
Rango	0,000	--	--	--	--
Mediana	1,624	--	--	--	--
Media JIS	1,624	--	--	--	--
Coeff. Variación	0,000	--	--	--	--
3 Sigma	0,000	--	--	--	--


Nombre	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion	Energia
Parámetro	N	mm	MPa	%	J
Unidades	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2035:2012	--	--	--	--	0,0248
Media	--	--	--	--	0,0248
Desviación Estándar	--	--	--	--	0,0000
Máximo	--	--	--	--	0,0248
Mínimo	--	--	--	--	0,0248
Rango	--	--	--	--	0,0000
Mediana	--	--	--	--	0,0248
Media JIS	--	--	--	--	0,0248
Coeff. Variación	--	--	--	--	0,0000
3 Sigma	--	--	--	--	0,0000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacio	Rotura_Carga
Parámetro	N	mm	MPa	%	N
Unidades	N	mm	MPa	%	N
NTE INEN 2035:2012	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Media	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	--
Máximo	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Mínimo	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	--
Mediana	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Media JIS	96750	4,34433	64500	10,8608	--
Coeff. Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	--
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	--

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacio	1. Poisson
Parámetro	mm	MPa	%	10, 20 N
Unidades	mm	MPa	%	0, 0
NTE INEN 2035:2012	--	--	--	--

a.

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS


LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Fecha: 10 de diciembre del 2021
Análisis solicitado por: Sra. Milena Caicedo
Tipo de muestra: Jangbe en polvo (materia Prima)
Localidad: Babamba

Análisis Físico

COLOR: Ligeramente amarillento
ASPECTO: Homogéneo de granulometría fina
OLOR: Característico, fuerte

Análisis Químico


Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Proteínas	%	INEN 20483	4,76
Fibra	%	INEN 20212	5,37


Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	*Valores referenciales	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	--	560
E-coli	UFC/g	<10	Ausencia
Hongos	UFC/g	Mín. 1x10 ⁶	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	Mín. 1x10 ⁶	20

*Valores referenciales a la norma NTE INEN 416


Observaciones:
Amenazado.


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



b.

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS


LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Fecha: 10 de diciembre del 2021
Análisis solicitado por: Sra. Milena Caicedo
Tipo de muestra: Almidón de jangbe
Localidad: Babamba

Análisis Físico


COLOR: Ligeramente amarillento
ASPECTO: Homogéneo de granulometría fina
OLOR: característico, fuerte


Análisis Microbiológico

Determinaciones	Unidades	*Rango estándar	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	Mín. 2x10 ⁶ Máx. 3x10 ⁷	60
E-coli	UFC/g	<10	Ausencia
Hongos	UFC/g	Mín. 1x10 ⁶ Máx. 5x10 ⁶	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	Mín. 1x10 ⁶ Máx. 5x10 ⁶	<10

*Valores referenciales, Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. F-10 2007

Observaciones:
Amenazado.


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



c.

NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	PRUEBA MECÁNICA DEL BLANCO Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
<p>a. Ensayo de tracción del blanco.</p> <p>b. Análisis microbiológico de la materia prima.</p> <p>c. Análisis microbiológico del almidón.</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p>			<p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	LABORADO POR:	LÁMINA
			ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA	1	1:1	2022/03/03

ANEXO I

PORCENTAJE DE AMILOSA

MC-LSAIA-2201-06

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

INFORME DE ENSAYO No: 21-0220

**NOMBRE PETICIONARIO:	Milena Valeria Calcedo Duarte	**INSTITUCIÓN:	Particular
**DIRECCIÓN:	Riobamba	**ATENCIÓN:	Milena Valeria Calcedo Duarte
FECHA DE EMISIÓN:	23/12/2021	FECHA DE RECEPCIÓN:	09/12/2021
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 9 al 23 de diciembre del 2021	HORA DE RECEPCIÓN:	14h30
		ANÁLISIS SOLICITADO:	Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ¹	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
21-1340	7,81	25,84	Almidón de Jengibre

Los ensayos marcados con (1) se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

IVAN RODRIGO SAMANIEGO RAMÍREZ
Dr. MSc. Iván Samaniego
RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME

BLADIMIR EFRAÍN ORTIZ RAMOS
Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

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

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

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	PORCENTAJE DE AMILOSA		
Laboratorio Iniap análisis.	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: CAICEDO DUARTE MILENA VALERIA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/03/03



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Milena Valeria Caicedo Duarte
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

1277-DBRA-UTP-2022