



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**INCIDENCIA DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE PLÁSTICO
BIODEGRADABLE DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: ADERLIN DAYAN VASCONEZ SANDOVAL

DIRECTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOÍNA. PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Aderlin Dayan Vasquez Sandoval

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

Yo, ADERLIN DAYAN VASCONEZ SANDOVAL, 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 autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos en este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de junio de 2022




A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines. The signature is written over a horizontal line. The name "Aderlin Vasquez" is faintly visible within the loops of the signature.

Aderlin Dayan Vasquez Sandoval

1600645376

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de Integración Curricular certifica que El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **INCIDENCIA DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)**, realizado por el señor **ADERLIN DAYAN VASCONEZ SANDOVAL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias. PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: FABIAN ERNESTO	2022-06-01
Ing. Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moína. PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado digitalmente por HANNIBAL LORENZO BRITO MOÍNA CUI=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION EN AUTORENDO DE CERTIFICACION SUBIDA-2 SECURITY DATA Razón: Soy el autor de este documento Fecha: lunes, 4 de julio de 2022 12:05:10 p. m.	2022-06-01
Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca. PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: GABRIELA VIVIANA TUBON USCA	2022-06-01

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de integración curricular a Dios, por ser la guía, luz y camino a lo largo de mi vida, en los momentos difíciles y en los de alegría, por regalarme la vida y por darme las oportunidades necesarias para formarme y crecer a nivel personal y profesional. A mis padres, Holger y Targelia, por ser mi motor, ya que sin su apoyo tanto moral como económico, sin los valores y principios que inculcaron en mí, sin su amor y sus consejos no hubiera llegado a ningún lugar en esta vida. A mis hermanos, Thalia y Ariel, por el ejemplo, amor incondicional y fuerza que me han brindado desde siempre. A mis sobrinos, María Fernanda, Danna y Diego, por darle sentido a mi vida.

Aderlin

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradecer a Dios por la oportunidad de alcanzar esta meta y hacerlo posible mediante su ayuda incondicional y acompañamiento en cada uno de mis pasos, por las bendiciones derramadas a lo largo de mi vida que ahora dan como fruto esta carrera universitaria. A toda mi familia, padres, hermanos, sobrinos y primos que han contribuido de diferentes maneras para mi formación no solo a nivel profesional sino también como persona, muchas gracias por su motivación para tratar de alcanzar la excelencia.

De manera especial quiero agradecer al Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moína y a la Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca. PhD, quienes formaron parte del presente trabajo en calidad de director y miembro del trabajo de integración curricular, por su absoluta ayuda y tiempo invertido en el presente trabajo, sin sus conocimientos, calidad humana y arduo trabajo no hubiese sido posible alcanzar con éxito el objetivo propuesto, mis más sinceros agradecimientos.

Al Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Espoch (GIADE) por el apoyo brindado en la realización del trabajo investigativo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme las herramientas necesarias para instruirme, en particular quiero agradecer a la Carrera y Escuela de Ingeniería Química, lugar donde recibí conocimientos necesarios que me ayudaron a crecer.

Finalmente, quiero agradecer a los amigos que la vida universitaria me dio, sin ellos, este trayecto de mi vida hubiese sido más difícil de llevar, gracias por la amistad, apoyo y motivación brindada.

Aderlin

TABLA DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Marco conceptual.....	5
1.2.1. Plásticos	5
1.2.1.1. Definición.....	5
1.2.1.2. Polímeros	5
1.2.1.3. Polímeros sintéticos	5
1.2.1.4. Impacto ambiental de los plásticos con polímeros sintéticos	6
1.2.1.5. Biopolímeros	7
1.2.1.6. Plásticos biodegradables	7
1.2.1.7. Tipos de bioplásticos.....	8
1.2.1.8. Biodegradación.....	8
1.2.1.9. Beneficios de los bioplásticos	8
1.2.2. Recursos agrícolas	9
1.2.2.1. Quinoa.....	9
1.2.2.2. Clasificación taxonómica.....	10
1.2.2.3. Usos y aplicaciones.....	10
1.2.2.4. Almidón	11
1.2.2.5. Estructura.....	12
1.2.2.6. Extracción de almidón	13
1.2.2.7. Operaciones de extracción de almidón de quinua	14
1.2.2.8. Caracterización del almidón.....	16
1.2.2.9. Caracterización del bioplástico	18

1.2.3.	<i>Óxido de grafeno</i>	20
1.2.3.1.	<i>Definición</i>	20
1.2.3.2.	<i>Aplicaciones</i>	21
1.2.3.3.	<i>Método de extracción</i>	21

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1.	Objetivos de la investigación	24
2.1.1.	<i>General</i>	24
2.1.2.	<i>Específicos</i>	24
2.2.	Planteamiento de las hipótesis	24
2.2.1.	<i>Hipótesis General</i>	24
2.2.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	24
2.3.	Identificación de variables	25
2.4.	Operacionalización de variables	26
2.5.	Matriz de consistencia	28
2.6.	Tipo y Diseño de Investigación	30
2.6.1.	<i>Tipo de investigación</i>	30
2.6.2.	<i>Diseño de investigación</i>	30
2.7.	Unidad de análisis	30
2.8.	Población de Estudio	30
2.9.	Tamaño de Muestra	30
2.10.	Selección de muestra	31
2.11.	Técnicas de Recolección de Datos	32
2.11.1.	<i>Obtención de almidón de quinua</i>	32
2.11.1.1.	<i>Diagrama de flujo para la obtención de almidón de quinua</i>	34
2.11.2.	<i>Caracterización fisicoquímica del almidón de quinua</i>	35
2.11.3.	<i>Obtención de óxido de grafeno</i>	39
2.11.3.1.	<i>Diagrama de flujo para la obtención del óxido de grafeno</i>	41
2.11.4.	<i>Técnica de obtención de bioplástico</i>	43
2.11.4.1.	<i>Diagrama de flujo para la elaboración de bioplásticos con óxido de grafeno</i>	44
2.11.5.	<i>Caracterización del bioplástico</i>	45

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	48
3.1.	Datos	48
3.1.1.	<i>Ensayos fisicoquímicos realizados con la materia prima y el almidón</i>	48
3.1.1.1.	<i>Caracterización física de los granos de quinua</i>	48
3.1.1.2.	<i>Extracción del almidón de quinua</i>	49
3.1.2.	Síntesis del óxido de grafeno	51
3.1.3.	Caracterización fisicoquímica y mecánica del bioplástico	51
3.1.3.1.	<i>Formulación del bioplástico con ácido acético</i>	51
3.1.3.2.	<i>Formulación del bioplástico con óxido de grafeno</i>	51
3.1.4.	Datos de la valoración económica	58
3.1.4.1.	<i>Obtención del almidón</i>	58
3.1.4.2.	<i>Obtención del óxido de grafeno</i>	58
3.1.4.3.	<i>Elaboración del bioplástico</i>	59
3.2.	Cálculos	59
3.2.1.	Ensayos del almidón y materia prima	59
3.2.1.1.	<i>Pruebas de la materia prima</i>	59
3.2.1.2.	<i>Pruebas del almidón</i>	60
3.2.2.	Síntesis del óxido de grafeno	60
3.2.2.1.	<i>Rendimiento del óxido de grafito</i>	60
3.2.2.2.	<i>Rendimiento del óxido de grafeno</i>	61
3.2.3.	Ensayos con el bioplástico	61
3.2.3.1.	<i>Porcentaje de solubilidad</i>	61
3.2.3.2.	<i>Porcentaje de permeabilidad</i>	61
3.2.3.3.	<i>Porcentaje de biodegradabilidad</i>	62
3.2.3.4.	<i>Cuadrado de error medio</i>	62
3.2.3.5.	<i>Diferencia honestamente significativa</i>	62
3.3.	Resultados	63
3.3.1.	Ensayos con el almidón y la materia prima	63
3.3.1.1.	<i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica</i>	63
3.3.1.2.	<i>Rendimiento de la extracción del almidón</i>	64
3.3.2.	Síntesis del óxido de grafeno	64
3.3.2.1.	<i>Rendimiento de óxido de grafito</i>	64
3.3.2.2.	<i>Rendimiento del óxido de grafeno</i>	65
3.3.2.3.	<i>Espectroscopía UV-Visible del óxido de grafeno</i>	66

3.3.2.4.	<i>Espectroscopía IR del óxido de grafeno y grafito</i>	66
3.3.2.5.	<i>Microscopía del óxido de grafeno</i>	68
3.3.3.	<i>Ensayos con el bioplástico</i>	69
3.3.3.1.	<i>Análisis sensorial realizado</i>	69
3.3.3.2.	<i>Promedio del espesor del bioplástico</i>	69
3.3.3.3.	<i>Promedio de humedad del bioplástico</i>	70
3.3.3.4.	<i>Promedio de solubilidad del bioplástico</i>	70
3.3.3.5.	<i>Promedio de permeabilidad del bioplástico</i>	71
3.3.3.6.	<i>Biodegradabilidad del bioplástico</i>	72
3.3.3.7.	<i>Ensayos de tracción con el bioplástico</i>	73
3.3.3.8.	<i>Análisis de varianza de un factor de los ensayos de tracción del bioplástico</i>	76
3.3.4.	<i>Valoración económica del bioplástico</i>	86
3.3.4.1.	<i>Obtención del almidón</i>	86
3.3.4.2.	<i>Obtención del óxido de grafeno</i>	86
3.3.4.3.	<i>Elaboración del bioplástico</i>	87
3.4.	Prueba de hipótesis	88
3.4.1.	<i>Prueba de hipótesis general</i>	88
3.4.2.	<i>Prueba de hipótesis específica 1</i>	88
3.4.3.	<i>Prueba de hipótesis específica 2</i>	88
3.4.4.	<i>Prueba de hipótesis específica 3</i>	88
3.4.5.	<i>Prueba de hipótesis específica 4</i>	89
CONCLUSIONES		90
RECOMENDACIONES		92
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Componentes de los granos de quinua	9
Tabla 2-1:	Clasificación taxonómica de la quinua.....	10
Tabla 3-1:	Contenido de nutrientes de la quinua	11
Tabla 4-1:	Principales metodologías empleadas para sintetizar óxido de grafeno.....	23
Tabla 1-2:	Identificación de variables.....	25
Tabla 2-2:	Operacionalización de variables.....	26
Tabla 3-2:	Matriz de consistencia	28
Tabla 4-2:	Diseño totalmente al azar para elaborar bioplásticos con óxido de grafeno.....	31
Tabla 5-2:	Metodología para extraer el almidón de quinua	32
Tabla 6-2:	Caracterización física y química del almidón de quinua	35
Tabla 7-2:	Metodología para obtener el óxido de grafeno.....	39
Tabla 8-2:	Metodología para obtener el bioplástico	43
Tabla 9-2:	Caracterización del plástico biodegradable	45
Tabla 1-3:	Caracterización de la quinua	48
Tabla 2-3:	Rendimiento del almidón obtenido.....	49
Tabla 3-3:	Obtención de óxido de grafeno.....	51
Tabla 4-3:	Bioplástico base.....	51
Tabla 5-3:	Formulaciones del bioplástico con óxido de grafeno	52
Tabla 6-3:	Ensayo de espesor de los plásticos	53
Tabla 7-3:	Prueba de humedad de los bioplásticos	54
Tabla 8-3:	Prueba de solubilidad de los bioplásticos	55
Tabla 9-3:	Ensayo de permeabilidad de vapor de los bioplásticos	56
Tabla 10-3:	Áreas para la biodegradabilidad al ambiente.....	57
Tabla 11-3:	Áreas para la biodegradabilidad en agua.....	57
Tabla 12-3:	Áreas para la biodegradabilidad en agua.....	58
Tabla 13-3:	Insumos utilizados	58
Tabla 14-3:	Insumos empleados	58
Tabla 15-3:	Insumos empleados	59
Tabla 16-3:	Caracterización realizada.....	63
Tabla 17-3:	Resultados del rendimiento del almidón de quinua.....	64
Tabla 18-3:	Rendimiento del óxido de grafito	65
Tabla 19-3:	Resultado del rendimiento del óxido de grafeno	65
Tabla 20-3:	Examen sensorial.....	69

Tabla 21-3:	Resultados promediados del espesor	70
Tabla 22-3:	Resultados promediados de la humedad del bioplástico	70
Tabla 23-3:	Resultados promediados del ensayo de solubilidad	71
Tabla 24-3:	Resultados promediados del ensayo de permeabilidad	71
Tabla 25-3:	Porcentaje de biodegradabilidad en los tres ambientes	72
Tabla 26-3:	Ensayos de tracción del bioplástico con óxido de grafeno	73
Tabla 27-3:	Ensayos de tracción del bioplástico con ácido acético	75
Tabla 28-3:	Análisis de la carga máxima.....	76
Tabla 29-3:	Análisis de varianza de la carga máxima.....	77
Tabla 30-3:	Análisis del desplazamiento máximo	77
Tabla 31-3:	Análisis de varianza del desplazamiento máximo	78
Tabla 32-3:	Análisis del desplazamiento máximo	78
Tabla 33-3:	Análisis del esfuerzo máximo	79
Tabla 34-3:	Análisis de varianza del esfuerzo máximo	79
Tabla 35-3:	Análisis de la máxima deformación	80
Tabla 36-3:	Análisis de varianza de la máxima deformación	80
Tabla 37-3:	Análisis de la máxima deformación	81
Tabla 38-3:	Análisis de la rotura de carga	81
Tabla 39-3:	Análisis de varianza de la rotura de carga	82
Tabla 40-3:	Análisis del módulo de elasticidad	82
Tabla 41-3:	Análisis de varianza del módulo de elasticidad.....	83
Tabla 42-3:	Comparación de resultados entre las formulaciones analizadas.....	84
Tabla 43-3:	Insumos utilizados para obtener el almidón	86
Tabla 44-3:	Costos de obtención almidón.....	86
Tabla 45-3:	Costos de insumos para la obtención de óxido de grafeno.....	86
Tabla 45-3:	Costos de obtención óxido de grafeno.....	87
Tabla 46-3:	Costos de producción del bioplástico	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Período de descomposición de productos básicos	6
Figura 2-1: Estructura de la amilosa	12
Figura 3-1: Estructura de la amilopectina.....	13
Figura 4-1: Estructura del óxido de grafeno. A) epóxido, B) oxhidrilo, C) carboxilo.....	20
Figura 5-1: Síntesis de óxido de grafeno a partir de grafito.	22
Figura 6-1: Mecanismo de formación del óxido de grafeno.....	23
Figura 1-3: Microscopía del óxido de grafeno.....	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Extracción de almidón de quinua.	34
Gráfico 2-2:	Diagrama de la obtención de óxido de grafeno.	42
Gráfico 3-2:	Diagrama de la elaboración de bioplástico.....	44
Gráfico 1-3:	Resultados del UV-Visible.....	66
Gráfico 2-3:	IR del óxido de grafeno.....	67
Gráfico 3-3:	IR del grafito.....	68
Gráfico 4-3:	Ensayo de tracción del plástico con óxido de grafeno.....	74
Gráfico 5-3:	Resultados del ensayo de tracción del plástico con ácido acético.....	75
Gráfico 6-3:	Comparación de los ensayos de tracción en base a las formulaciones.....	85
Gráfico 7-3:	Porcentaje de degradabilidad alcanzado.....	89
Gráfico 8-3:	Costos de producción de bioplásticos por tratamientos.....	89

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Índice de solubilidad en el agua.....	35
Ecuación 2-2: Cálculo del porcentaje de cenizas de una muestra de almidón	37
Ecuación 3-2: Porcentaje de solubilidad	45
Ecuación 4-2: Permeabilidad de vapor de agua del bioplástico.....	46
Ecuación 5-2: Cálculo de la biodegradabilidad	47
Ecuación 1-3: Rendimiento del almidón.....	60
Ecuación 2-3: Rendimiento del óxido de grafito	61
Ecuación 3-3: Rendimiento del óxido de grafeno.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN Y MATERIA Y ANÁLISIS DE CONTENIDO DE AMILOSA
- ANEXO B:** RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN
- ANEXO C:** RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN
- ANEXO D:** OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y RESULTADOS DE TRACCIÓN
- ANEXO E:** PRIMERA ETAPA DE LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN
- ANEXO F:** SEGUNDA ETAPA DE LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN
- ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIA PRIMA
- ANEXO H:** CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIA PRIMA
- ANEXO I:** SÍNTESIS DEL ÓXIDO DE GRAFENO
- ANEXO J:** CONTINUACIÓN DE LA SÍNTESIS DEL ÓXIDO DE GRAFENO
- ANEXO K:** ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO L:** ENSAYOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO M:** ENSAYOS DE TRACCIÓN Y BIODEGRADABILIDAD
- ANEXO N:** MEDICIÓN DE ÁREAS DE LOS PLÁSTICOS

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (*Chenopodium quinoa*), para lo cual se elaboraron bioplásticos con diferentes volúmenes del óxido y se realizó su caracterización respectiva mediante ensayos de tracción para conocer si existió mejoramiento alguno. Se realizó la extracción del almidón de quinua y se procedió con su caracterización juntamente con la materia prima en base a la guía técnica de la FAO, obteniendo valores que se encuentran dentro de la norma. Partiendo de 3 gramos de grafito y mediante el método de Hummers modificado se obtuvo óxido de grafeno con un alto rendimiento, producto que fue caracterizado mediante espectroscopía. Para elaborar las biopelículas se partió de cantidades de almidón, glicerina y agua conocidas mediante bibliografía y se empleó un diseño totalmente al azar para la adición del óxido de grafeno. Se realizaron ensayos para la caracterización fisicoquímica de los bioplásticos, los cuales fueron humedad, espesor, solubilidad y permeabilidad; además, se llevaron a cabo pruebas de degradación en 3 medios: suelo, agua y ambiente para analizar los períodos de degradación del material, finalmente se determinaron las propiedades mecánicas de las láminas mediante ensayos con probetas en la máquina universal para pruebas de tracción. Se empleó un análisis de varianza de un factor para determinar la diferencia significativa entre los resultados de las propiedades mecánicas analizadas y, mediante un análisis comparativo se determinó que existió un mejoramiento en las propiedades de carga máxima, esfuerzo máximo, rotura de carga y módulo de elasticidad del bioplástico, en las que el TBQ-3 fue seleccionado como mejor tratamiento debido a sus altos porcentajes de mejora. Se recomienda buscar el mejoramiento del esfuerzo máximo y rotura de carga mediante el uso de aditivos.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <QUINUA (*Chenopodium quinoa*)>, <ALMIDÓN>, <ÓXIDO DE GRAFENO>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>, <MEJORAMIENTO>, <BIODEGRADABILIDAD>.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-
ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2022.06.27 10:41:44 -05'00'



1120-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The objective of this study consisted of determining the incidence of graphene oxide on the mechanical properties of biodegradable plastic sheets made from quinoa (*Chenopodium quinoa*). For this purpose, bioplastics were produced with different volumes of the oxide and their characterization was carried out by means of tensile tests to determine whether there was any improvement. The quinoa starch was extracted and characterized together with the raw material on the basis of the FAO technical guide, obtaining values that are within the standard. Starting with 3 grams of graphite and using the modified Hummers method, graphene oxide was obtained with a high yield, a product that was characterized by spectroscopy. The biofilms were made from amounts of starch, glycerin and water known from the literature and a completely random design was used for the addition of graphene oxide. Tests were carried out for the physicochemical characterization of the bioplastics, which consisted of moisture, thickness, solubility and permeability; in addition, degradation tests were carried out in 3 media: soil, water and environment to analyze the degradation periods of the material. Finally, the mechanical properties of the films were determined by means of tests with test tubes in the universal tensile testing machine. A one-factor analysis of variance was used to determine the significant difference between the results of the mechanical properties analyzed and, through a comparative analysis, it was determined that there was an improvement in the properties of maximum load, maximum stress, load rupture and modulus of elasticity of the bioplastic, in which TBQ-3 was selected as the best treatment due to its high improvement percentages. It is recommended to look for the improvement of maximum stress and load rupture by the use of additives.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <QUINOA (*Chenopodium quinoa*)>, <STARCH>, <GRAPHENE OXIDE>, <MECHANICAL PROPERTIES>, <ENHANCEMENT>, <BIODEGRADABILITY>.

ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA

Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.07.01
11:14:26 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales comúnmente fabricados en cantidades masivas debido a su amplio campo aplicativo en las diferentes industrias que existen y al incremento de la población mundial, este tipo de materiales están presentes en nuestra vida cotidiana a través de diferentes industrias como la alimenticia, electrónica, automovilística, etc. Los plásticos, desde un punto de vista químico, son polímeros que son sintetizados a partir del petróleo y poseen un elevado peso molecular, desde los proceso de obtención de los plásticos se generan residuos contaminantes y gases como el CO₂ que contribuyen al deterioro medioambiental del planeta a través del calentamiento global (Atiwesh et al., 2021, pp. 1-3), la utilidad de los plásticos han aumentado de forma excesiva debido a la forma de vida actual, este recurso ha contribuido significativamente a la economía de las personas ya que, gracias a sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas, a lo largo de tiempo han suplido el uso de materiales más costosos, sin embargo, la gran producción de plásticos ha generado inconvenientes a nivel ambiental como es el agotamiento de los recursos no renovables (Ballesteros, 2014, pp. 3-4).

El consumo mundial de plástico incrementa continuamente, su industria genera aproximadamente 300 millones de toneladas de plásticos de un solo uso al año, la descomposición de los desechos plásticos, debido a sus propiedades de alta durabilidad y baja degradabilidad, puede tardar miles de años (Atiwesh et al., 2021, pp. 1-3).

Se han tomado varias acciones correctivas para frenar el incremento de la contaminación, una de ellas, muy conocida, ha sido el reciclaje, este tipo de acciones han tenido un éxito parcial, debido a que, en varios países solo un pequeño porcentaje del plástico convencional se recicla, lo demás termina depositado en vertederos (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3); es por eso que a día de hoy se promueve el desarrollo de alternativas para hacerle frente a estos materiales, una de ellas ha sido la elaboración e implementación de bioplásticos en las industrias, en la última década se ha incrementado la producción de láminas biodegradables, con el fin de innovar los envases sostenibles y limitar los daños ambientales que son asociados a los plásticos convencionales (Tokiwa, et al., 2009, pp. 3722-2723).

Los bioplásticos son compuestos poliméricos y en cuanto a su funcionalidad son similares a los plásticos sintéticos con la diferencia de que son amigables con el medio ambiente debido a su biodegradabilidad, estos pueden transformarse debido a la acción de los organismos microbianos en el anhídrido carbónico, en el gas metano y la biomasa microbiana dentro de procesos llevados a cabo en presencia y ausencia de oxígeno (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3), este tema ha sido ampliamente abordado por profesionales, las películas a base del almidón presente en cultivos y raíces han sido de gran interés para los investigadores, estas películas son delgadas y flexibles y están formadas de biopolímeros que son capaces de crear una matriz continua debido a la añadidura de plastificantes (Araujo et al., 2010, pp. 839-840). Sin embargo, los bioplásticos presentan

ciertas deficiencias que lo limitan en ciertos usos en las industrias, las carencias de los plásticos biodegradables frente a los plásticos convencionales se encuentran principalmente en las propiedades mecánicas puesto que estos se rompen con facilidad y no son tan fuertes (Amri et al., 2018, pp. 1-5).

Por lo planteado anteriormente, el presente Trabajo de Integración Curricular propone analizar la incidencia del óxido de grafeno, en calidad de relleno potencial en la matriz de los bioplásticos, creados a base de almidón de quinua en las propiedades mecánicas del mismo mejorando dichas propiedades y así poder brindarle mayores oportunidades en el mercado.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Los plásticos son materiales altamente demandados y comunes, tal es el caso que los encontramos en casi todas las industrias, he ahí la gran variedad de las aplicaciones que puede ofrecer, desde envolturas para dulces, pasando por artículos del hogar hasta incluso componentes de grandes medios de transportes como automóviles o barcos, desde que fueron creados a mediados del siglo XX, los plásticos han formado parte del diario vivir de las personas gracias al potencial innovador de este tipo de materiales, a día de hoy, gracias materiales de este tipo podemos tener acceso al recurso hídrico vital, sistemas de saneamiento, vivienda, telecomunicación, etc., sin embargo los residuos de plástico a nivel mundial resultan inaceptables (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3), el continuo crecimiento de la población y el consumo anual de plásticos ha generado inmensas cantidades de residuos no degradables que se acumulan en el medio ambiente y generan inconvenientes (Vasseghian et al., 2022, pp. 2-3).

Durante décadas las personas han realizado acciones para contrarrestar los efectos negativos de la producción de plásticos, debido a su preocupación generada por los daños que conlleva la aglomeración de plásticos en el ambiente, tal es el caso de la Unión Europea, que en el año de 1975, estableció normas de jerarquía para la gestión de residuos, pese a su implementación, el éxito de las normas impuestas no fue total y uniforme en todo el territorio, por otra parte, en el año de 2015 el congreso de los Estados Unidos dictaminó leyes que prohibieron la fabricación de artículos plásticos seleccionados, de igual forma, un suceso más actual a la presente fecha, en el 2021, fue la prohibición por parte de la Unión Europea de producir plásticos de un solo uso (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3).

Las medidas y prohibiciones que se han tomado sobre los plásticos tienen como fin el fomentar la utilización de recursos reutilizables y biodegradables, para reducir el impacto ambiental, una de las alternativas es la implementación y uso de bioplásticos como sustituto a los plásticos sintéticos (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3). La producción de bioplásticos ha evolucionado, esto se debe a su aceptación por parte de la sociedad, este tipo de material ha estado en mercado desde hace dos décadas, sin embargo, su producción a nivel industrial data desde aproximadamente el año 2004, para el año 2005 el mercado mundial de bioplásticos bordeaba las cifras de 94800 toneladas, un dato importante es que, en el mismo año, los estudios revelan que los bioplásticos a base de almidón fueron los que mayoritariamente se produjeron teniendo un 47% del total de bioplásticos producidos (LEIA, 2007, pp. 8-9), en el año 2017 el continente asiático fue el líder de

producción de bioplástico con un 56% de la producción a nivel mundial, Europa produjo un 18%, América del norte un 16% y Suramérica el porcentaje más bajo que es del 10%; para el año 2018 en el Ecuador no existía de forma concreta un listado de empresas que produzcan este tipo de recursos biodegradables, pero si existen investigaciones realizadas que aborda el tema de los bioplásticos mediante la utilización de diferentes materias primas, como ejemplo tenemos la oca o banano (Riera & Palma, 2018, pp. 71-72).

Así lo corroboran (Araujo et al., 2010, pp. 839-840) mediante sus estudios del desarrollo de películas creadas a base de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*), estudio en el que empleó soluciones filmógenas compuestas de almidón de quinua que estaban constituidas de diferentes concentraciones de glicerol y valores alcalinos de pH, en esta investigación se evaluó la influencia de la concentración del glicerol, pH, condiciones de secado en las propiedades mecánicas del bioplástico, obteniendo resultados mejores propiedades mecánicas en lo referente a la fuerza de perforación, resistencia a la atracción y alargamiento de rotura.

El estudio realizado en la Universidad de Riau por (Amri et al., 2018, pp. 1-5) habla sobre el mejoramiento exitoso que se ha logrado en las propiedades mecánicas con resistencia a la tracción de una lámina de bioplástico creado a base de almidón de yuca gracias a la implementación de óxido de grafeno en calidad de relleno, entre los aspectos a resaltar está la buena homogeneidad de los componentes, el tiempo de mezclado de fue igual a una hora y el contenido de óxido de grafeno fue de 15% para lograr una resistencia a la tracción de 3,92 MPa.

Según los estudios de (Feng et al., 2012, pp. 644-646) presentaron una película de nanocompuestos de celulosa bacteriana (polímero natural de alta resistencia a la tracción y cristalinidad) con óxido de grafeno que tenía una estructura de capas empleando la técnica de ensamblaje asistido por vacío, el grafeno empleado ha mostrado varias propiedades de tipo mecánico y eléctrico, mismas que lo califican para como aplicable para el refuerzo de matrices poliméricas.

Por otra parte, (Guamán, 2019, pp. 11-16) ha realizado una investigación en la ciudad de Riobamba para la elaboración de bioplástico proveniente del almidón de la cáscara de papa Superchola, un tubérculo de la serranía ecuatoriana, el método que empleó para su obtención del almidón fue la decantación natural y para conseguir el plástico biodegradable se emplearon cinco formulaciones según el modelo factorial 2², los resultados mostraron que las láminas biodegradables presentaron similitudes a las láminas sintéticas en cuanto a la valoración de sus parámetros físicos.

1.2. Marco conceptual

1.2.1. Plásticos

1.2.1.1. Definición

Los plásticos son moléculas poliméricas sintéticas o artificiales de cadena extensa, estos polímeros presentan propiedades y características muy favorables dependiendo el uso que se les vaya a dar, las propiedades son alta resistencia, buena flexibilidad, bajo costo de producción, altos niveles de durabilidad, fácil de producir, entre otras más que han sido aprovechadas por el ser humano para suplir diferentes necesidades, lo que ha dado lugar a la producción masiva de plásticos, como ejemplo tenemos las cifras de producción mundial de plástico del año 2018 que bordearon las 360 millones de toneladas (Matjašič et al., 2020, pp. 1-2).

1.2.1.2. Polímeros

Los polímeros surgen a causa de la unión de miles de monómeros o moléculas más pequeñas, de forma que, al juntar varios monómeros se obtienen grandes cadenas o polímeros, existen dos tipos de polímeros con los que se trabaja, los naturales que son los que están presentes en la naturaleza y que están conformados por celulosa, y los artificiales o sintéticos, que son los mayormente usados por las personas y esto ha generado una gran producción por parte de las industrias (Carballo, 2009, pp. 64-66).

1.2.1.3. Polímeros sintéticos

Los polímeros más utilizados y que debido a su gran producción terminan como desechos en los ecosistemas son los polietilenos (PE), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), tereftalato de polibutileno (PBT) y poliuretano (PUR), entre otros (Matjašič et al., 2020, pp. 1-2).

Las estructuras químicas de los plásticos se ven afectas según el monómero y el método empleado para la polimerización, esto hace que los plásticos se dividan en ramas, los termoestables, termoplásticos y elastómeros; los primeros son materiales que tienen una estructura molecular que compone una red que no puede deshacerse por incidencia de la temperatura y al ser formados, estos no puede ser modificados ni mucho menos reciclados, por otro lado, los termoplásticos están constituidos por cadenas lineales de polímeros con ciertas ramificaciones, estas condiciones estructurales ayudan a que puedan ser reciclables; por su parte, los elastómeros tienen en su

composición macromoléculas independientes provenientes del hule que constituyen a su vez una red con propiedades de contracción y estiramiento, convirtiéndolos en elásticos mediante procesos de vulcanización (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

1.2.1.4. Impacto ambiental de los plásticos con polímeros sintéticos

El problema de la contaminación por residuos plásticos sintéticos ha dejado de ser un inconveniente netamente estético, como lo consideraban hace un par de años atrás, para convertirse en una preocupación a nivel mundial tanto para la flora y fauna como para la salud de las personas, las principales amenazas de los plásticos se deben a su aglomeración en el ambiente y a su escasa degradabilidad, presentando una fragmentación de partículas denominadas microplásticos, que son contenedores de productos nocivos (Matjašič et al., 2020, pp. 1-2).

Los desechos de los microplásticos tienen incidencia en la salud humana, en daños relacionados con la obesidad e inconvenientes en la reproducción de las personas, además de ello, se ha determinado que los microplásticos pueden causar retrasos en el desarrollo normal de los niños (Bhatt et al., 2021, pp. 1-3).

La contaminación plástica existente en mares y océanos es excesiva, existen alrededor de 580.000 piezas de plástico por cada kilómetro cuadrado, estudios revelan que cerca de 600 especies de microorganismos y animales sufren las consecuencias de la aglomeración de plásticos principalmente por su ingesta (Bahl et al., 2020, pp. 4-6).

Los productos plásticos generalmente tienen un tiempo de vida útil corto, un ejemplo es la de las fundas, que tienen una vida útil de aproximadamente un año, pero el problema radica en que pueden permanecer en el ambiente por muchos años incluso siglos, como se muestra en la Figura 1-2, en la cual los plásticos ocupan el último lugar siendo los más complicados de descomponer.

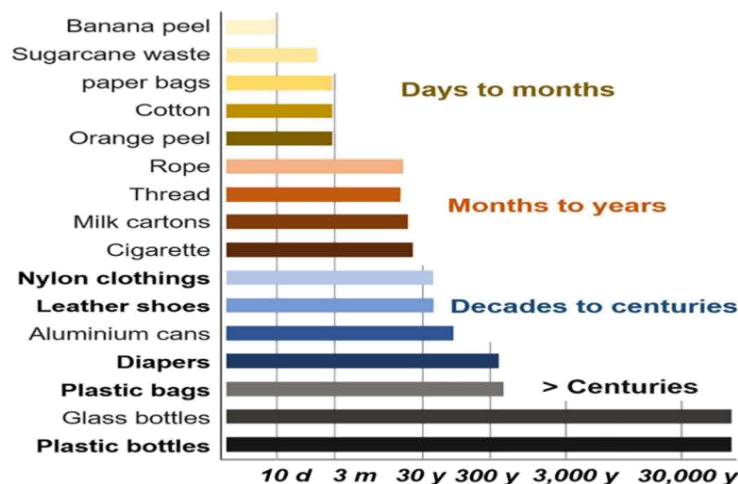


Figura 1-1: Período de descomposición de productos básicos

Fuente: (Chen & Yan, 2020, pp. 4-6).

1.2.1.5. Biopolímeros

Los biopolímeros son compuestos sustitutos de origen natural de los polímeros sintéticos, estos proviene de fuentes consideradas como renovables que pueden ser grasas, aceites, proteínas o también poliésteres de carácter microbiano o vegetal (Vasseghian et al., 2022, pp. 2-3), los biopolímeros se producen a partir de materia viva que contiene unidades monoméricas con moléculas de tipo estructura ya sean ramificadas o lineales, a diferencia de los polímeros convencionales, los biopolímeros presentan gran biodisponibilidad y biodegradabilidad, razón por la cual son muy demandados (Udayakumar et al., 2021, p. 4).

Los biopolímeros pueden dividirse en naturales, sintetizados químicamente y microbianos, cada uno de los tipos de biopolímeros tienen propiedades tanto físicas como químicas y debido a esto pueden ser utilizados en diferentes industrias, por su parte, los biopolímeros naturales se subdividen según su estructura química, pueden ser: polisacáridos, proteínas y poliésteres, dentro de los polisacáridos se encuentra la celulosa, el almidón y también el quitosano (Udayakumar et al., 2021, p. 4).

1.2.1.6. Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables o bioplásticos están constituidos por polímeros al igual que los plásticos, pero con la diferencia de que estos provienen de fuentes renovables como grasas, aceites, proteínas o poliésteres de carácter vegetal o microbiano, en ciertas condiciones los bioplásticos pueden ser biodegradables y compostables, dando oportunidad a que se reciclen a través de procesos biológicos. Los primeros bioplásticos de origen biológico fueron desarrollados, en el año 1862, a base de nitrato de celulosa, sin embargo, no se comercializó debido al alto costo de producción que requería (Vasseghian et al., 2022, pp. 2-3).

Estos plásticos biodegradables tienen la posibilidad de ser transformados en CO₂, biomasa microbiana y CH₄ gracias a la intervención de los microorganismos, las condiciones de la acción microbiana pueden ser anaeróbicas o en presencia de oxígeno, cabe recalcar que los estudios realizados sugieren realizarlo en condiciones aeróbicas ya que se tiene mayor ganancia de energía, el nivel de degradación logrado con los bioplásticos se lo puede cuantificar mediante pruebas de determinación de dióxido de carbono liberado en función del tiempo, mediante pruebas estándar a nivel de laboratorio (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3).

1.2.1.7. Tipos de bioplásticos

Existen dos tipos de plásticos biodegradables, en primer lugar los que son substancialmente degradables y su procesos de degradación ocurre de en un medio natural por medio de enzimas o bacterias (Yadav et al., 2020, pp. 1-2); por otra parte, están los compuestos que requieren la adición de un material degradable como el almidón, se ha estudiado la implementación de almidón en plásticos comunes con el fin de lograr incrementar la degradabilidad del plástico sintético, sin embargo, los plásticos resultantes no han presentado una composición rígida y esto dificulta su utilización masiva (Vasseghian et al., 2022, pp. 2-3).

1.2.1.8. Biodegradación

Proceso que consta de varias etapas sucesivas, en primera instancia se tiene la colonización de los organismos microbianos de las superficies plásticas, continuando se tiene una despolimerización de enzimas a nivel extracelular, para dar paso a absorción de fragmentos de polímero en las células microbianas y para terminar el proceso se presenta la mineralización mediante reacciones respiratorias (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3).

Los procesos abióticos como (radiaciones UV, estrés mecánico causado por el viento del ambiente, hidrólisis y oxidación) actúan sobre los bioplásticos antes de la biodegradación, conduciéndolos hacia el deterioro, fragmentación y creación de grupos químicos de tipo reactivo en la superficie, facilitando de esta forma la biodegradación (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3).

1.2.1.9. Beneficios de los bioplásticos

Los beneficios prestados por este tipo de plástico amigable con el ambiente son muchos, dependiendo el tipo de industria al que se quiera llegar, como ejemplo tenemos el uso de bioplásticos como envolturas y artículos que han sido creadas para un solo uso como sorbetes, fundas, vasos, preservativos, entre muchos más, la creación de películas para fines agrícolas para la producción de verduras y frutas, contribuyendo a la conservación de la humedad de suelo, control de las malas hierbas y proporcionar temperaturas favorables , sin embargo, el beneficio principal es el hecho de frenar los residuos plásticos (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3), y con esto se ve beneficiado el hombre a través del mejoramiento de su calidad de vida.

Los bioplásticos están diseñados para ser utilizados de diferente manera y para que posteriormente se degraden en el suelo o en abono al culminar su ciclo de vida, varios plásticos biodegradables tienden a degradarse mayor nivel en el compost que en el suelo, y al contrario de igual manera (Flury & Narayan, 2021, pp. 1-3).

1.2.2. Recursos agrícolas

1.2.2.1. Quinua

La quinua, *Chenopodium quinoa*, es una planta del género *Amaranthus* que se ha cultivado en la región de los Andes durante los últimos 7000 años aproximadamente, la planta de quinua es categorizada como tolerante al estrés ya que ha soportado diferentes cambios ambientales (Collar, 2015, pp. 573-574). Sus nombres más comunes son: kinua, parca, quingua, entre otros más, dependiendo la región en la que se dan, el país que mayoritariamente exporta quinua es Bolivia, por parte de América Latina, este productivo país se encarga de distribuir este tipo de cereal a los Estados Unidos y varios países de Europa (Mujica & Jacobsen, 2006, pp. 450-453).

Tabla 1-1: Componentes de los granos de quinua

No.	Elemento	Porcentaje
1	Proteínas	13,80 a 16
2	Extracto etéreo	5,10
3	Carbohidratos	59,70
4	Fibras	4,10
5	Lisina	0,88
6	Metionina	0,42
7	Triptófano	0,12
8	Grasas	4 a 9

Fuente: (Moreno, 2016, pp. 10-12).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- Zonas productoras de quinua en el Ecuador

Dentro de la región andina, el Ecuador, seguido de Bolivia y Perú, ocupa el tercer lugar correspondiente los países que más quinua producen, la región productora de este cereal dentro del territorio ecuatoriano es la Sierra, teniendo como registro las provincias de Imbabura, Bolívar, Carchi, Cañar y Cotopaxi, zonas en las que también se produce hortalizas y tubérculos (Moreno, 2016, pp. 10-12).

Según (Alvarado & Martínez, 2015, pp. 16-19), la provincia líder de la producción de quinua en el país es Chimborazo, donde se encontraron cerca del 70% de las Unidades Productivas Agrícolas encargadas de la producción de quinua, en el ranking le siguen las provincias de Cotopaxi e Imbabura.

1.2.2.2. Clasificación taxonómica

Tabla 2-1: Clasificación taxonómica de la quinua

No.	Ítem	Denominación
1	Reino	<i>Plantae</i>
2	División	<i>Magnoliophyta</i>
3	Clase	<i>Magnoliopsida</i>
4	Orden	<i>Caryophyllales</i>
5	Familia	<i>Amaranthaceae</i>
6	Género	<i>Chenopodium</i>
7	Especie	<i>C. Quinoa</i>

Fuente: (Aristizábal & Sánchez, 2007. pp. 61-91).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

1.2.2.3. Usos y aplicaciones

La quinua, denominada “grano madre”, posee un alto valor nutricional, razón por la cual, ha sido tratado como cultivo estratégico para el desarrollo de la soberanía alimentaria en varias regiones del mundo, de manera especial en aquellos países en los que la producción se ve limitada, la quinua es el único alimento de la familia de los vegetales que contiene todos los aminoácidos esenciales (localizados en el núcleo del grano), vitaminas y oligoelementos (Collar, 2015, pp. 573-574).

Este cereal es empleado en alimentación de las personas, gran parte en niños, jóvenes, ya que es un producto muy completo, es preparado en forma de sopa, galletas, tortas e incluso en forma de chicha, entre mucho otras incluyendo las comidas tradicionales propias de las zonas andinas (Mujica & Jacobsen, 2006, pp. 450-453), de igual manera, la quinua ha sido utilizada para elaborar productos alimenticios nuevos, saludables, extruidos tipo snack (Collar, 2015, pp. 573-574). En el ámbito de la medicina, la quinua ha brindado propiedades de tipo cicatrizante, desinflamante o antiséptico, por otra parte, las semillas de quinua también suelen ser molidas y utilizadas como harina (Mujica & Jacobsen, 2006, pp. 450-453).

Existen estudios a nivel de laboratorio en los que se ha utilizado la quinua para extraer su almidón, tal es el caso de (Arzapalo et al., 2015, pp. 44-46) que obtuvieron almidón de tres variedades de quinua y los caracterizaron mediante pruebas físicas y químicas, o el caso de (Ledesma, 2021, pp. 37-50) quien

obtuvo bioplásticos a partir de almidón de quinua para utilizarlos en la industria alimenticia como envolturas.

1.2.2.4. Almidón

El almidón es polímero de procedencia natural que constituye una fuente de energía muy importante para las personas, el cual se produce en calidad de carbohidrato de reserva en varias plantas, el ser humano aprovecha esta energía de fuentes como raíces, cereales, tubérculos o rizomas; este almidón de almacenamiento se encuentra en los amiloplastos como lugar de producción y están presentes en forma de gránulos de diferente forma dependiendo el tipo de planta (Bertoft, 2017, pp. 1.2).

Para la presente investigación se ha tomado como materia prima la quinua (*Chenopodium quinoa*), misma que al tratarse de un cereal contine almidón en su composición, a continuación, se presenta una tabla con algunos parámetros acerca de la quinua incluyendo la cantidad de almidón que contine según estudios.

Tabla 3-1: Contenido de nutrientes de la quinua

No.	Nutriente	Unidad	Valor por 100 gramos
1	Agua	Gramos	13,28
2	Energía	Kcal	368
3	Proteína	Gramos	14,12
4	Almidón	Gramos	52,22

Fuente: (Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- *Propiedades de los almidones*

Gelatinización: Es el déficit de la propiedad de semicristalidad correspondiente a los granos del almidón, esto se debe a la alteración de la movilidad de las moléculas y a su hinchamiento, este proceso de disminución ocurre en condiciones altas de calor y grandes cantidades de agua, la temperatura de gelatinización varía según la clase de almidón que se tenga, la amilosa presente en el almidón forma un gel debido a la desintegración de la estructura de los grano, esto se debe a la acción del agua generada por el incremento del calor adicionado (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

Retrogradación: Proceso correspondiente al reordenamiento de los componentes internos a nivel molecular como son los puentes de hidrógeno y las cadenas formadas, durante la retrogradación se produce una disminución de la propiedad de solubilidad y un aumento en la propiedad de turbiedad (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

Transición vítrea: Propiedad que al hablar de polímeros hace referencia a los cambios generados por el calor sobre las características de dicho polímero, los cambios básicamente se refieren a la rigidez del polímero y se deben a la influencia de la temperatura, ya que pueden pasar de una composición sólida a una frágil, modificándolo significativamente (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

Desestructuración: Es la modificación de los gránulos del almidón de tipo cristalino a una composición matricial de carácter homogéneo de polímeros disformes, este proceso conlleva la destrucción de los enlaces de hidrógeno que unen a las moléculas del almidón (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

1.2.2.5. Estructura

Los granos de almidón están formados principalmente por dos polisacáridos, los cuales son la amilopectina y la amilosa (Bertoft, 2017, pp. 1.2), la amilosa se encuentra presente en las capas internas del almidón mientras que la amilopectina la podemos encontrar en las capas externas y su proporción tiende a variar en dependencia del tipo de almidón, acerca de su composición, esta se basa en unidades de glucosa repetidas en gran número de veces (Corrales et al., 2007, pp. 58-61). Las propiedades de un almidón significativamente comerciales dependen de la amilopectina, amilosa, del tipo de planta empleada para la materia prima, grado de ramificación, entre otras, estas propiedades son flexibilidad y resistencia de carácter mecánica (Ruiz, 2006, pp. 7-8).

- Amilosa

Es un polímero que se encuentra en las capas interiores del grano y posee alrededor de 200 a más de 20.000 moléculas de glucosa, estas importantes moléculas se encuentran enlazadas mediante enlaces de tipo glicosídico de denominación α -1,4 mediante cadenas en forma hélice o también de nominadas no ramificadas, debido a estas hélices, las fibras y las películas de amilosa tienen mejores propiedades de elasticidad que las películas de celulosa; la amilosa es un polímero que presenta características de solubilidad en agua caliente, esto es gracias a la formación de coloides que tienen lugar en la superficie (Ruiz, 2006, pp. 7-8).

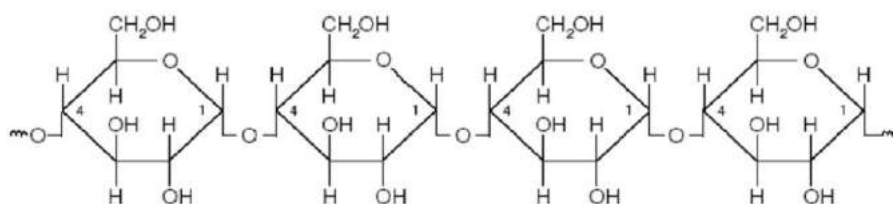


Figura 2-1: Estructura de la amilosa

Fuente: (Corrales et al., 2007, pp. 58-61).

- *Amilopectina*

La amilopectina la podemos encontrar en las capas externas, todo lo contrario al biopolímero anteriormente nombrado, la estructura interna de la amilopectina se ve constituida por moléculas de glucosa unidas entre si por enlaces del tipo glicosídico α -1,6 y α -1,4; este tipo de polímero se encuentra ramificado, estos desmembramientos de la cadena principal llevan moléculas de glucosa unidas por enlaces de tipo glicosídico α -1,6 (Ruiz, 2006, pp. 7-8).

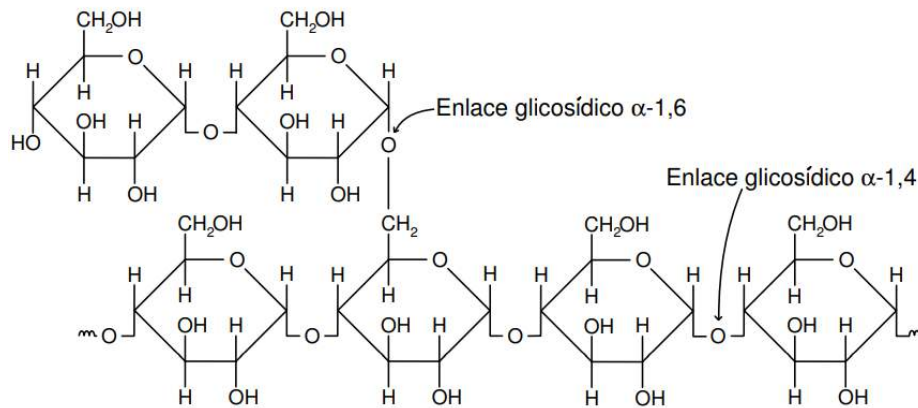


Figura 3-1: Estructura de la amilopectina

Fuente: (Ruiz, 2006, pp. 7-8).

1.2.2.6. *Extracción de almidón*

Para la extracción de almidón proveniente de fuentes naturales existen varias metodologías de las cuales se puede hacer uso, sin embargo (Guamán, 2019, pp. 11-16) menciona que, los métodos de decantación en los que se utiliza agua destilada o una solución básica para la extracción de almidón han presentado un buen rendimiento.

La extracción del almidón requiere de metodologías diferentes en dependencia del tipo de materia prima por la cual se ha optado, ya que al almidón lo pueden acompañar diferentes compuestos, en ciertos casos el almidón está presente en el interior de las células de forma espaciada, razón por la cual su extracción se facilita a comparación de los procesos requeridos para extraer almidón de los cereales, ya que el componente deseado está localizado en una matriz de carácter proteico en el endospermo del grano (Melian, 2010, pp- 22-23).

- *Extracción por vía seca*

Método de extracción que no requiere de agua durante el proceso, es una opción que pretende cuidar el medio ambiente puesto que se preserva el recurso que a día de hoy es muy valioso, un

ejemplo de esta técnica es la realizada para la obtención de zanahoria blanca y camote en la investigación de (Parra, 2019, pp. 24-25), misma que plantea que se debe en primera instancia limpiar y pesar la materia prima para luego rayarlos y facilitar la liberación de almidón, posteriormente se realiza una pre-deshidratación para eliminar ciertas cantidades de agua, esta operación da paso al proceso de pre-molienda, mismo que utiliza un molino de bolas para reducir el tamaño de partícula, luego de esto se seca la harina obtenida y se realiza una molienda para completar la disminución de tamaño para luego tamizar el producto y obtener un almidón puro.

- *Extracción por vía húmeda*

Proceso que requiere ciertas cantidades de agua que, al ser desechadas puede llegar a ser considerada como contaminante debido a la presencia de elementos orgánicos que pueden contener, (Parra, 2019, pp. 24-25) menciona que ha trabajado con este método para obtener almidón de zanahoria blanca y camote, para este proceso de debe lavar, pesar y picar la materia prima para luego sumergirlos en una solución de metabisulfito y agua destilada, posteriormente se debe licuar la muestra con agua destilada, el producto de la operación anterior pasa por medios filtrantes y deberá ser guardado en reposo, el sedimento será secado, molido y tamizado.

- *Extracción de almidón de quinua*

Para extraer el almidón de quinua se puede seguir un procedimiento como el que menciona (Ledesma, 2021, pp. 37-50) que consiste en lavar la materia prima para proceder a dejar en remojo la misma con el fin de eliminar impurezas y saponinas, posteriormente se realiza la trituration y filtrado de la materia prima para romper los granos de quinua y obtener el almidón, el proceso siguiente es el decantado, que da paso al secado y molienda de la solución obtenida, el proceso termina con el tamizado del tamiz y su envasado.

1.2.2.7. Operaciones de extracción de almidón de quinua

- *Recepción y pesado*

La materia prima con la que se va a trabajar fue comprada y es receptada y pesada con el fin de trabajar con cifras exactas durante el proceso de extracción del almidón, en este proceso se hace uso de una balanza y de recipientes plásticos para el almacenamiento de la misma, los datos obtenidos son registrados.

- *Limpieza*

Operación que tiene como fin separar material no deseado o impuro que suele venir acompañado de la materia prima, puesto que esta proviene del campo, generalmente este tipo de materia indeseada está constituida por ramas, hojas o granos de otro tipo que suelen mezclarse con el material de valor.

- *Lavado*

El fin de este proceso es evitar que microorganismos e impurezas estén presentes en futuras etapas, son removidas mediante el agua, en esta operación unitaria generalmente se utiliza agua debido a su bajo costo y accesibilidad. Por su parte (Arzapalo et al., 2015, pp. 44-46) menciona que, el lavado ayuda a eliminar las saponinas y cáscaras que están presentes en los granos de quinua.

- *Remojo*

Operación que consiste en sumergir la materia prima en un líquido, generalmente agua, debido a su disponibilidad y bajo costo, con el fin de hidratar y por ende ablandar los granos, facilitando el rompimiento de los mismos, las cantidades de agua utilizadas corresponden a una relación de una parte de semillas por 3 partes de agua, lo que se busca es que el agua cubra totalmente los granos.

- *Triturado y filtrado*

Las operaciones de trituración tienen como fin reducir el tamaño inicial de las partículas en estado sólido con las que se trabaja, para esto se utiliza diferentes equipos como molinos, licuadoras, trituradores, etc. La materia triturada debe ser filtrada, en este proceso, se forma una torta de materia sólida en una de las capas superficiales de un medio filtrante mientras el líquido que contiene la mezcla atraviesa el filtro (Brito, 2001).

- *Decantado*

La decantación es un método empleado para separar mezclas de tipo heterogéneo mediante la diferencia existente entre sus densidades, de forma general la materia en estado sólido tiende a depositarse en la parte inferior del recipiente que lo contiene mientras que la materia líquida asciende y este puede ser removido fácilmente (Montero, 2016, 49-50).

- *Secado*

Operación que consiste en remover pequeñas porciones de agua presentes en un material, los métodos mecánicos para lograrlo pueden ser varios, tales como centrífugas o prensas y también están los métodos térmicos que son comúnmente utilizados (Geankoplis, 1998), de igual forma se lo puede realizar al aire libre utilizando la temperatura ambiente.

- *Molienda*

La molienda se refiere al proceso de reducción de tamaño de las partículas, para ello se requiere la aplicación de fuerzas mecánicas que actúan sobre la materia que necesita ser molida, esta materia responde a la fuerza mecánica aplicada mediante la deformación del material en cuestión (Loubes, 2015, pp. 50-53).

- *Tamizado*

Operación denominada también como cribado que consiste en la separación de las fracciones componentes de un material sólido granular, esto se logra gracias a la diferencia de tamaños de las partículas de la materia, para hacerlo posible se utilizan tamices que son fabricados con barras de composición metálica que están entrecruzadas, para que el tamizaje sea posible se requiere que el materia sólido y las cribas estén en movimiento, esto hará que las partículas que tengan un diámetro menor al del tamiz lo atraviesen (Brito, 2000).

- *Envasado*

El envasado tiene como función principal la protección al igual que la conservación, esta operación facilita los procesos posteriores que son el almacenamiento y repartición en muchos de los casos que se busca comercializar algún producto, corresponde a una operación muy importante de varios procesos (Cevallos & Alvarez, 2016, 7-9).

1.2.2.8. *Caracterización del almidón*

- *Solubilidad*

La solubilidad es un parámetro que describe la cantidad máxima de una determinada sustancia que tiene la capacidad de ser disuelta en su totalidad en un volumen específico de solvente, en

muchos casos el agua, la solubilidad puede representar un concepto clave para los campos investigativos de la física, química, farmacéutica o alimentos (Gong & Brittain, 2007, pp. 1-2).

- *Humedad*

Es un parámetro que representa la cantidad de agua presente en un material sólido, esta magnitud se la puede expresar en términos, ya sea, de una base húmeda o seca, la humedad es aspecto muy importante dentro de la industria alimenticia que trabaja con cereales o granos (Martines & Lira, 2010).

- *pH*

El pH corresponde a una medición dentro de la escala numérica que establece valores de alcalinidad o de acidez de una solución, las mediciones con valores mayores a 7 corresponden a soluciones básicas y de forma opuesta las soluciones con valores de pH menores a 7 son denominadas ácidas, de tal manera el valor del pH del agua pura corresponde a 7 siendo el valor neutro (Vásquez & Rojas, 2016).

- *Ceniza*

Las pruebas de cenizas corresponden a los análisis de los restos inorgánicos sobrantes del proceso de ignición en su totalidad a los cuales se los somete a un material orgánico, la metodología para realizar este estudio son varios, al igual que los equipos que se pueden emplear; los análisis de cenizas pueden ser: en seco (mayor parte de alimentos son sometidos a este tipo de estudios), por vía húmeda (emplea la oxidación en muestras altas en grasas) y en plasma seco (análisis de tipo volátil) (Márquez, 2014, pp. 9-10).

- *Viscosidad*

Propiedad de transporte que analiza la fricción interior que realiza un fluido al resistir a un cambio dinámico en cuanto al desplazamiento de un fluido, la viscosidad es directamente proporcional a la facilidad de movimiento del fluido a través de una superficie, de forma que mientras más viscoso es un fluido, más fácil se desplazará, desde un punto de vista interno, dinámica de las moléculas del fluido dependen de las fuerzas de atracción y de la estructura del fluido.

Al trabajar con la viscosidad de líquidos se debe tener en cuenta la dependencia del factor de interacción entre moléculas, debido a esto el incremento de temperatura provoca un

debilitamiento de las interacciones anteriormente mencionadas y se obtienen valores de viscosidad que disminuyen, por otra parte, la incidencia de la presión sobre la viscosidad es mucho menor a comparación de la temperatura (Moreno, 2017, pp. 5-6).

- *Temperatura de gelatinización*

Al incrementar la temperatura, se calienta el agua y se rompen los enlaces intermoleculares, el almidón empieza un proceso de transición en el cual las partículas que lo componen se desordenan obteniendo una mezcla de polímeros en solución, la rotura de enlaces permite que algunas zonas atrapen más agua, a esto se lo conoce como gelatinización, la temperatura de gelatinización se refiere a la temperatura a la que se produce dicha transición de fase, partiendo de un estado ordenado a uno sin orden alguno, esta temperatura dependerá de cada tipo de almidón, de cada tipo de planta y de la cantidad de agua que está presente, al igual que del pH y del grado de reticulación de la amilopectina presente en el almidón (Ubwa et al., 2012, pp. 22-23).

1.2.2.9. *Caracterización del bioplástico*

- *Espesor*

Para medir este parámetro en los bioplásticos se pueden emplear herramientas como el micrómetro de tornillo digital con gran precisión, se lo puede utilizar para medir en cinco puntos diferentes, teniendo como referencia cada una de las esquinas y el centro y así obtener un promedio de las mediciones (Susilawati et al., 2019, pp. 86-89).

- *Solubilidad en agua*

Existe una gran clasificación de macromoléculas que tienen propiedades de solubilidad al entrar en contacto con el agua, esta clasificación comprende a polímeros sintéticos usados ampliamente en la industria y a los biopolímeros con los cuales se ha producido en menor escala, en las biopelículas producidas a base de almidón, la propiedad de solubilidad está relacionada con su aplicación, dependiendo el uso que se le quiera dar al bioplástico se puede requerir de alta o baja solubilidad en agua, para que un polímero sea soluble en agua sus componentes no iónicos deben tener afinidad con el agua o ser hidrofílicos y además deben contener grupos éter, hidroxilo o amino (Pilla, 2017, pp. 39-40).

- *Transmisión de vapor de agua*

La transmisión o permeabilidad de vapor de agua es una propiedad que mide la aptitud que puede presentar una superficie porosa para ser atravesado fluido en un tiempo determinado bajo la influencia de la presión (Mattio, 2014, pp. 16-17). Según (Abarca, 2012, pp. 1-4), para mejorar la permeabilidad al vapor de agua propias de películas se han agregado sustancias plastificantes hidrófobas como el glicerol o a su vez combinando biopolímeros con polisacáridos.

Para realizar mediciones de la transmisión de vapor se suelen utilizar métodos gravimétricos guiados en la norma ASTM E96, bajo ciertos parámetros o condiciones de humedad relativa tanto interna como externa, teniendo valores para el primer parámetro de 0% y para el segundo de 100%, también existe una temperatura que rige al sistema la cual es de 23 °C, el equipo utilizado para este proceso son cámaras que controlan los parámetros de humedad y temperatura (Charro, 2015, pp. 23-26).

- *Ensayos de tracción*

Son pruebas que miden la resistencia al tirón máximo que la película de bioplástico puede soportar hasta antes de romperse, para estos ensayos existen varios equipos que se encargan de la medición (Susilawati et al., 2019, pp. 86-89), este tipo de pruebas se lo lleva a cabo con equipos especializados.

- *Biodegradabilidad*

Los experimentos de biodegradabilidad tienen como objetivo determinar el grado de resistencia que pueden llegar a tener los bioplásticos frente a la influencia de factores como los microorganismos en descomposición, la humedad del suelo, la temperatura y los factores fisicoquímicos que se encuentran en el ambiente (Susilawati et al., 2019, pp. 86-89).

- *Análisis microbiológico*

Los análisis microbiológicos constituyen una serie de operaciones que buscan determinar la presencia de microorganismos en una muestra determinada, el interés de este tipo de estudios se focaliza en microorganismos patógenos y se lo realiza a nivel de laboratorio cumpliendo con los estándares de salubridad e higiene (Obón, 2018).

1.2.3. Óxido de grafeno

1.2.3.1. Definición

El óxido de grafeno es un derivado del grafeno, este último es una capa única de átomos de carbono que se encuentran ubicados en anillos hexagonales que poseen una estructura de electrones aromáticos, el grafeno se caracteriza por la presencia de grupos de oxígeno ubicados en la parte superficial del grafeno y, por ende, se presentan alteraciones en los anillos hexagonales propios de la estructura del grafeno (Jagiełło et al., 2020, pp. 1-2).

Este compuesto tiene una estructura de carbono que es similar al grafeno, pero también contiene grupos hidroxilos, alcoxi, carbonilo, ácido carboxílico y además otros grupos funcionales que tienen al oxígeno como base, debido a aquellos grupos oxigenados, el óxido de grafeno presenta ciertas ventajas sobre el grafeno como es mayor solubilidad y mejor funcionalización de superficies al trabajar con nanocompuestos (Smith et al., 2019, pp. 32-33).

La estructura y las propiedades de los derivados del grafeno dependen mayoritariamente del tamaño, la forma y los grupos funcionales unidos a la superficie del material, es más fácil generar la forma altamente oxidada de grafeno, (óxido de grafeno), tanto con carbono sp^2 como sp^3 que poseen abundantes grupos de oxígeno y que al reducirse (óxido de grafeno reducido) consigue eliminar gran parte de los grupos de oxígeno y el carbono sp^3 , logrando así generar un compuesto similar al grafeno (Smith et al., 2019, pp. 32-33).

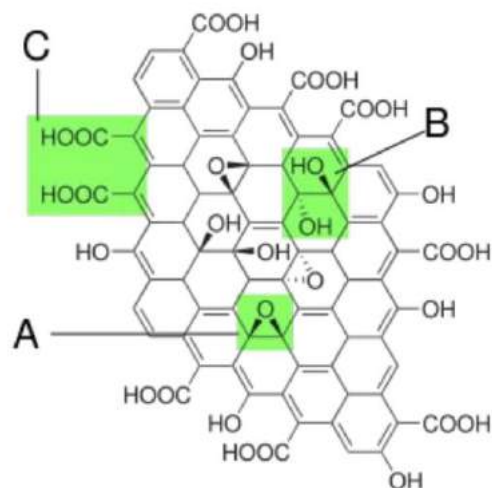


Figura 4-1: Estructura del óxido de grafeno. A) epóxido, B) oxhidrilo, C) carboxilo.

Fuente: (Rosas & Silva, 2016, p. 52).

1.2.3.2. Aplicaciones

Debido a los defectos que posee el óxido de grafeno en su estructura, se han generado varias propiedades únicas que le proporcionan mayores aplicaciones en compuestos poliméricos a base de grafeno, sensores, energía fotovoltaica, materiales de purificación o membranas (Sun, 2019, pp. 2-4).

Los derivados del grafeno pueden ser empleados como rellenos eficaces para trabajar con materiales nanocompuestos poliméricos, esto se debe a sus propiedades ideales y su facilidad de dispersión dentro de matrices poliméricas; el óxido de grafeno tiene propiedades hidrofílicas, térmicas y también eléctricas que pueden ser aprovechadas en algunos materiales que responden a ciertos estímulos (Smith et al., 2019, pp. 32-33).

Las aplicaciones del óxido de grafeno pueden ser dirigidas también para materiales de embalaje debido a que sus átomos de carbono pueden servir como barreras altamente efectivas para las moléculas de gas, pudiendo así también proteger dispositivos electrónicos sensibles o materiales que son resistentes a los procesos corrosivos (Smith et al., 2019, pp. 32-33).

1.2.3.3. Método de extracción

La química del grafeno ha sido estudiada hace muchos años atrás, estos estudios han ayudado a la obtención del óxido de grafeno, aquellos estudios nacieron en el año de 1859 por parte del químico BC Brodie quien exploró la estructura del grafito y su reactividad, básicamente sus estudios involucraban la adición de clorato de potasio a la suspensión que presenta el grafito en presencia de ácido nítrico fumante, mediante análisis, Brodie determinó que la materia resultante contenía oxígeno, carbono e hidrógeno, logrando así un incremento de la masa total del grafito (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

Se realizaron tratamientos oxidativos secuenciales que arrojaron como resultado un incremento extra de oxígeno, mismo que se normalizó después de la cuarta reacción, los estudios de Brodie denominaron al material obtenido como ácido gráfico debido a que éste tenía la capacidad de dispersarse en medios básicos pero no podía hacerlo en medios ácidos, por otra parte, descubrió que la composición de carbono, hidrógeno y oxígeno puede variar si la materia es sometida a incrementos de temperatura (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

Luego de 40 años, los estudios de Brodie se encaminaron para poder oxidar el grafito, L. Staudenmaier perfeccionó la preparación de Brodie del HNO₃ fumante de KClO₃ mediante la adición del clorato en varias alícuotas a lo largo de la reacción que diferenciaban al proceso de Brodie en el cual lo hizo una sola vez, esta mínima modificación presentó un grado de oxidación similar al que obtuvo Brodie mediante sus procesos oxidativos, pero con la diferencia de que la

modificación fue mucho más práctica al realizarlo en un solo recipiente donde se llevaron a cabo las reacciones (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).



Figura 5-1: Síntesis de óxido de grafeno a partir de grafito.

Fuente: (Farías et al., 2017, pp. 3-5).

El ácido nítrico tiene propiedades oxidantes y reacciona con superficies de carbono aromático, como productos de esa reacción se forman especies contenedoras de óxidos, entre ellos están los carboxilos, cetonas, también se liberan gases como el dióxido de nitrógeno (NO_2) o el tetraóxido de dinitrógeno (N_2O_4), de igual manera el Clorato de Potasio ($KClO_3$) es un agente oxidante, ambos reactivos constituyen fuentes de oxidación muy fuertes (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

Después de seis décadas Offeman, Hummers y Staudenmaie hallaron un método de oxidación alternativo que consistía en la reacción del grafito con permanganato de potasio ($KMnO_4$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), logrando con esto nuevamente niveles de oxidación parejos; a pesar de que otros científicos han desarrollado versiones levemente modificadas, estos tres métodos son los principales para obtener el óxido de grafeno (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

Actualmente, la metodología más empleada para la obtención de óxido de grafeno es el de Hummers y Offeman, método propuesto en el año de 1958, el camino a seguir para lograr la síntesis es la progresiva adición de permanganato de potasio a la solución de grafito y ácido sulfúrico (Farías et al., 2017, pp. 3-5).

El grafito está compuesto de partículas policristalinas y se lo puede encontrar de forma natural o sintética (Li et al., 2014, pp. 137-139), para las reacciones químicas de síntesis de óxido de grafeno se emplea mayormente el grafito en escamas (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4). El método de Hummers realiza una oxidación del grafito a través de su mezcla con H_2SO_4 concentrado, nitrato de sodio ($NaNO_3$)

juntamente con KMnO_4 (Fariás et al., 2017, pp. 3-5), aunque el permanganato es un oxidante de uso común, la especie activa es el heptóxido de diamanganeso (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

El óxido de manganeso (VII) es más reactivo que su homólogo tetraóxido monometálico, estudios han demostrado su poder para oxidar de manera selectiva dobles enlaces alifáticos insaturados sobre dobles enlaces aromáticos, acción que tiene gran impacto en la estructura del grafito (Dreyer et al., 2010, pp. 2-4).

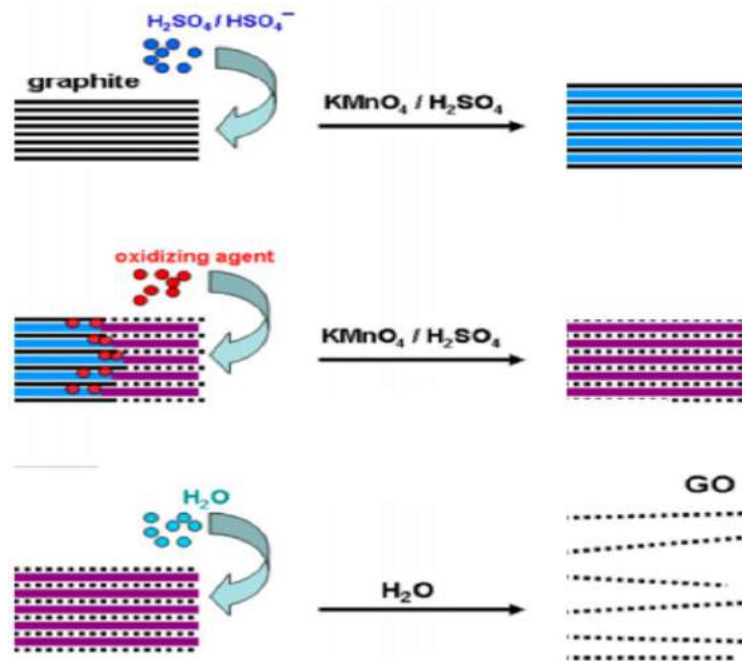


Figura 6-1: Mecanismo de formación del óxido de grafeno.

Fuente: (Fariás et al., 2017, pp. 3-5).

Tabla 4-1: Principales metodologías empleadas para sintetizar óxido de grafeno

Método	Oxidantes	Solvente	Tiempo de oxidación	C/O Ratio	Ventajas	Inconvenientes
Brodie	KClO_3	HNO_3	3-4 días	2,16	Muy estable, poco contaminante, presenta poca distancia entre capas.	Lento
Staudenmaier	KClO_3	HNO_3 , H_2SO_4	4 días	2,60	No ha sido reportado.	No ha sido reportado.
Hummers	NaNO_3 , KMnO_4	H_2SO_4	1 h	2,25	Presenta reacción rápida, pocos efectos	Muy contaminante y presenta alta degradación.

Fuente: (Fariás et al., 2017, pp. 3-5).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. *General*

Determinar la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (*Chenopodium quinoa*).

2.1.2. *Específicos*

- Caracterizar físico, química y microbiológicamente la materia prima y almidón.
- Verificar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable.
- Identificar el tiempo de degradación de las láminas de plástico obtenidas.
- Determinar el costo de producción del plástico biodegradable.

2.2. Planteamiento de las hipótesis

2.2.1. *Hipótesis General*

Mediante la adición de óxido de grafeno mejorarán las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (*Chenopodium quinoa*).

2.2.2. *Hipótesis Específicas*

- En la caracterización física y química del almidón obtenido y de la materia prima adquirida se conocerán los estándares de calidad con los que se cuenta para elaborar un plástico biodegradable.
- Las pruebas mecánicas comprobarán el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plásticos biodegradable.
- La exposición de las láminas de bioplástico a los factores como el agua, suelo y ambiente determinarán el tiempo de degradación de las mismas.
- Una valoración económica determinará el costo de producción del plástico biodegradable.

2.3. Identificación de variables

Tabla 1-2: Identificación de variables

No.	Etapas del proceso	Variables independientes	Variables dependientes
1	Extracción del almidón.	<ul style="list-style-type: none">• Materia prima.• Agua purificada.	<ul style="list-style-type: none">• Almidón de quinua obtenido.
2	Obtención del 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.• Tracción.• Permeabilidad.• Solubilidad.• Biodegradabilidad.

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.4. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de variables

No.	Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición	Unidad de medida
1	Cantidad de materia prima.	Independiente	Porción del material que se va a utilizar y que es una magnitud medible.	-	Peso	Balanza analítica	g
2	Cantidad de agua purificada.	Independiente	Unidad de medida de la dimensión de los líquidos.	-	Volumen	Probeta	mL
3	Cantidad de almidón de quinua obtenido.	Dependiente	Porción del material que se va a obtener y que es una magnitud medible.	-	Peso	Balanza analítica	g
4	Cantidad de reactivos.	Independiente	Porción del material que se va a utilizar para la obtención de un determinado producto y que es una magnitud medible.	Grafito	Peso	Balanza analítica	g
				Permanganato de potasio			
				Agua destilada	Volumen	Vaso de precipitación	mL
				Ácido sulfúrico			
				Ácido clorhídrico			
Peróxido de hidrógeno	Bureta						
5	Temperatura.	Independiente, dependiente	Es una magnitud física que mide la cantidad de calor o energía térmica existente en un sistema.	Para la obtención del plástico biodegradable.	Calor	Termómetro	°C
				Para la síntesis de óxido de grafeno.			
6	Cantidad de aditivos.	Independiente	Porción del material que se va a utilizar con el fin de obtener un	Glicerina	Volumen	Pipeta	mL
				Óxido de grafeno	Volumen	Pipeta	mL

			determinado producto y que es una magnitud medible.	Almidón	Peso	Balanza analítica	g
7	Solubilidad.	Dependiente	Es la capacidad que puede tener una sustancia o un cuerpo para disolverse al entrar en contacto con un líquido.	-	Peso	Balanza analítica	g
8	Humedad.	Dependiente	Es una magnitud que representa la cantidad de agua que está contenida en un determinado cuerpo.	-	Porcentaje	Balanza de humedad	%
9	Espesor.	Dependiente	Medida de la anchura o grosor de un cuerpo sólido.	-	Longitud	Calibrador	mm
10	Tracción.	Dependiente	Magnitud que representa el esfuerzo al que puede ser sometido un cuerpo sólido debido a la aplicación de fuerzas en sentidos opuestos que lo estiran.	-	Esfuerzo máximo	Equipo de tracción (SHIMADZU AUTOGRAPH)	MPa
11	Permeabilidad.	Dependiente	Cantidad de la capacidad que posee un determinado material para permitir que cierto fluido atraviese su estructura.	-	WVTR	Balanza analítica	g
12	Biodegradabilidad.	Dependiente	Magnitud que expresa la capacidad que pueden tener las sustancias orgánicas para descomponerse por acción de varios microorganismos.	Agua	Área	Balanza analítica	g
				Ambiente			
				Suelo			

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022

2.5. Matriz de consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
Los plásticos han sido un factor altamente contaminante desde su introducción al mercado mundial, debido a esto la implementación de plásticos biodegradables ha sido una solución que le ha hecho frente a aquellos problemas gracias a su tiempo de degradación, sin embargo, este producto puede ser mejorado mecánicamente hablando y con ello se podría ofrecer mejores aplicaciones en el campo industrial, a comparación que un plástico biodegradable común ofrece.		Determinar la incidencia del óxido de grafeno en las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).		Mediante la adición del óxido de grafeno se determinará su incidencia en las láminas de plástico biodegradable de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables de las Hipótesis Específicas	Técnicas de Recolección de datos
¿Cuáles son los parámetros a considerar para realizar la caracterización de la materia prima y del almidón de quinua?	Caracterizar físico, química y microbiológicamente la materia prima y almidón.	La materia prima y el almidón obtenido podrán ser caracterizados físico, química y microbiológicamente mediante ensayos respectivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Solubilidad. • pH. • Humedad. • Viscosidad. • Cenizas. • Fibra. • Proteína. • Amilosa. • Amilopectina. • Hongos. • Levaduras y mohos. • Coliformes totales. 	<ul style="list-style-type: none"> • (Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).

¿Las propiedades mecánicas del plástico biodegradable obtenido mejoraron?	Verificar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable.	Por medio de ensayos mecánicos se logrará verificar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable.	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad. • Carga de fluencia. • Esfuerzo de fluencia. • Carga máxima. • Esfuerzo máximo. • Porcentaje de elongación. 	<ul style="list-style-type: none"> • NTE INEN 2635:012
¿El tiempo de degradación del plástico biodegradable que contiene en su estructura óxido de grafeno disminuyó a comparación del bioplástico común?	Identificar el tiempo de degradación de las láminas de plástico obtenidas.	El tiempo de degradación de las láminas de bioplástico obtenidas será identificado mediante su exposición a factores como el agua, suelo y ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos físicos.
¿Es rentable económicamente la elaboración del plástico biodegradable con la adición del óxido de grafeno?	Determinar el costo de producción del plástico biodegradable.	Con el uso de una valoración económica se determinará el costo de producción del plástico biodegradable.	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de la materia prima. • Costo de los aditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración económica.

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.6. Tipo y Diseño de Investigación

2.6.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental debido a se trabajó con variables bajo parámetros controlados con un enfoque científico para así validar las hipótesis planteadas y poder corroborar resultados esperados.

Por otra parte, la investigación realizada sigue los lineamientos de tipo exploratorio ya que se utilizó como materia prima la quinua y se obtuvo un bioplástico con óxido de grafeno el cual deberá ser analizado para verificar el mejoramiento de sus propiedades mecánicas, temas sobre los cuales no se han realizado muchas investigaciones.

2.6.2. Diseño de investigación

Esta investigación tiene un diseño experimental completamente al azar, mismo que permitirá la verificación a la tendencia negativa o positiva que está presente en el plástico biodegradable.

2.7. Unidad de análisis

El objetivo de análisis es el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (*Chenopodium quinoa*) mediante la adición de óxido de grafeno en la estructura del mismo, para lo cual se realizarán seis formulaciones en las cuales se variarán el volumen de óxido de grafeno el cual será integrado al producto (bioplástico), mismo que será caracterizado física y mecánicamente con el fin de determinar si ha existido un mejoramiento en cuanto a aquellas propiedades.

2.8. Población de Estudio

La población de estudio se centra en la especie de quinua (*Chenopodium quinoa*), la selección de la materia prima se realizó mediante un muestreo de tipo selectivo en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba, esto debido a que en la provincia de Chimborazo existe gran producción de este grano, se consideró 10 kg de quinua seca para la extracción de su almidón.

2.9. Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra a utilizar corresponde a 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno de ellos, de tal forma que se obtendrán un total de 24 casos.

Tabla 4-2: Diseño totalmente al azar para elaborar bioplásticos con óxido de grafeno

N.º	Composición	Óxido de grafeno	Repetición
1	AGA	GO1	1
2			2
3			3
4			4
5		GO2	1
6			2
7			3
8			4
9		GO3	1
10			2
11			3
12			4
13		GO4	1
14			2
15			3
16			4
17		GO5	1
18			2
19			3
20			4
21		GO6	1
22			2
23			3
24			4

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Donde:

- **AGA:** Cantidades conocidas de Almidón, Glicerina y Agua destilada
- **GO:** Óxido de grafeno.

2.10. Selección de muestra

La metodología de muestreo a utilizar en la presente investigación es de tipo no probabilístico, ya que la cantidad de almidón a obtener a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*) es una variable dependiente netamente de su proceso de extracción.

2.11. Técnicas de Recolección de Datos

2.11.1. Obtención de almidón de quinua

Tabla 5-2: Metodología para extraer el almidón de quinua

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de ensayo
Vía húmeda	<ul style="list-style-type: none"> - Licuadora. - Balanza analítica. - Probeta. - Espátula. - Cronómetro. - Colador plástico. - Mortero de porcelana y pistilo. - Tamices de malla N.º 150µ y 300µ - Fundas ziploc. - Estufa con recirculación de aire. - Recipientes plásticos. - Jeringas - Bandejas de aluminio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua purificada. - Materia prima (quinua). 	<ul style="list-style-type: none"> - Recepción y pesaje de la materia prima: En los mercados de la ciudad de Riobamba se realizó la adquisición de 10 kg de quinua. - Limpieza: Operación que busca eliminar impurezas visibles al ojo humano como ramas, hojas o algún otro material no deseado. - Lavado: La materia prima pasa a ser enjugada con abundante agua para eliminar la suciedad presente en los granos. - Remojo: Los granos de quinua permanecerán 24 horas sumergidos en agua para realizar la germinación de las semillas, este proceso también busca ablandar los granos y facilitar la trituration, la proporción de agua y granos de quinua es 1:3. - Trituración y filtración: Los granos de quinua serán triturados con ayuda de una licuadora doméstica, para esta operación se deberá tener en cuenta que por cada 200 gramos de semillas germinadas de empleará 500 ml de agua purificada. El producto licuado pasará por un medio filtrante para separar los desechos de mayor tamaño de la solución acuosa. - Sedimentación: La sustancia acuosa del proceso anterior deberá ser colocada en recipientes plásticos en los cuales deberá reposar por 12 horas para obtener dos fases. - Decantado: El líquido sobrenadante será eliminado, de forma que se guarde la parte sólida ubicada en el fondo del recipiente. 	(Guamán, 2019, pp. 11-16)

			<ul style="list-style-type: none"> - Secado: El almidón sedimentado será colocado en bandejas de aluminio y llevados a la estufa con recirculación de aire a una temperatura de 60 °C por 24 horas. - Molienda: El producto totalmente seco procede a ser molido con ayuda de un mortero de porcelana y pistilo para que el tamaño de las partículas sea diminuto y así el proceso de tamizado se facilite. - Tamizado: La materia molida deberá pasar por los tamices con número de malla 150μ y 300μ para así obtener un almidón altamente fino y óptimo para la elaboración de películas biodegradables. - Envasado: El producto obtenido debe ser almacenado en bolsas ziploc para evitar pérdidas y contaminaciones. 	
--	--	--	---	--

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.1.1. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de quinua

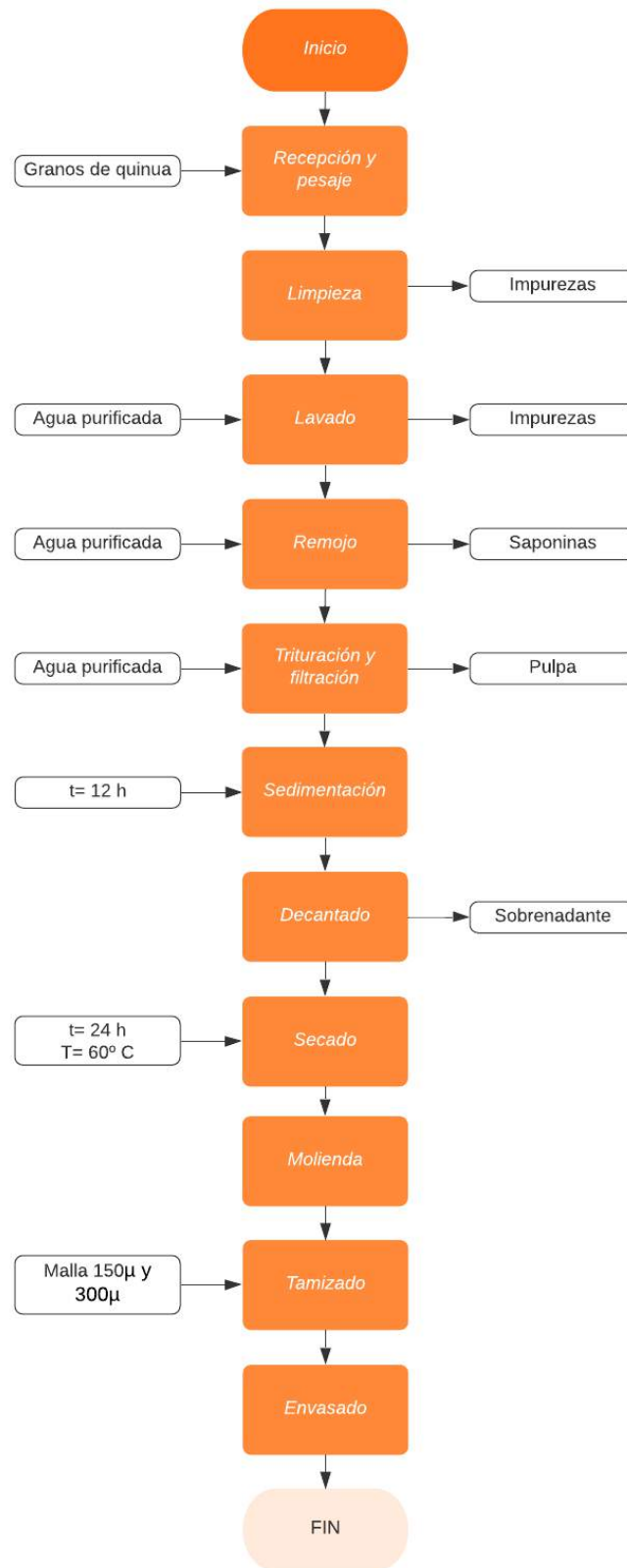


Gráfico 1-2: Extracción de almidón de quinua.

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.2. Caracterización fisicoquímica del almidón de quinua

Tabla 6-2: Caracterización física y química del almidón de quinua

N.º	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula para el cálculo	Método de ensayo
1	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Vidrio de reloj. - Espátula. - Centrífuga. - Tubos plásticos de centrifuga de 50 mL. - Vasos de precipitación de 50 mL. - Estufa con temperatura constante y recirculación de aire. - Pipeta volumétrica de 10 mL. - Probeta de 100 mL. - Equipo de baño maría. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. - Agua destilada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar los tubos de centrifuga previamente secados en la estufa a una temperatura de 60 °C. - Pesar en los tubos secos 1,25 gramos de almidón y agregar al tubo 30 mL de agua destilada que ha sido precalentada a una temperatura de 60 °C y agitar el tubo. - Colocar los tubos en el equipo de baño maría a una temperatura de 60 °C por 30 minutos, se debe agitar la solución luego los primeros 10 minutos de calentamiento en el equipo. - Centrifugar a 3000 RPM por 45 minutos a temperatura ambiente. - Decantar el líquido sobrenadante inmediatamente después de culminar el centrifugado y medir su volumen. - Pesar un vaso de precipitación de 50 mL. - Tomar una alícuota de 10 mL del sobrenadante y verter en el vaso de precipitación. 	<p>Índice de solubilidad en el agua (ISA)</p> $ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g)}}$ <p>Ecuación 1-2: Índice de solubilidad en el agua.</p>	(Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).

				<ul style="list-style-type: none"> - Llevar el vaso a la estufa a una temperatura de 70 °C durante toda la noche. - Realizar el pesaje del tubo de la centrifuga con el gel sedimentado. - Pesar el vaso de precipitación que contiene las partículas insolubles. 		
2	pH	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Sonicador. - Centrifuga. - Tubos para centrifuga de 50 mL. - pHmetro. - Solución tampón de pH 4,0 y 7,0. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. - Agua destilada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Graduar el equipo medidor de pH con las soluciones de pH 4,0 y 7,0. - Pesar 20 g de almidón y colocarlos en un vaso de precipitación. - Sonicar agua destilada por 15 minutos. - Mezclar 100 mL de agua sonicada con los 20 g de almidón. - Centrifugar la solución a 3000 RPM por 5 minutos. - Tomar una alícuota del sobrenadante y medir el pH. - Registrar los valores obtenidos. 	-	(Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).
3	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> - Termobalanza. - Espátula. - Vidrio de reloj. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 5 gramos de almidón de quinua en un vidrio reloj. - Encender la termobalanza, realizar el primer encerado sin el plato, realizar el segundo encerado con el plato, colocar la muestra de almidón. - Iniciar la determinación de la humedad con el equipo. - Repetir 3 veces la medición. 	-	

				<ul style="list-style-type: none"> - Registrar los valores de humedad obtenidos. 		
4	Viscosidad	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Viscosímetro - Agujas para viscosímetro - Reverbero. - Malla de asbesto. - Vaso de precipitación de 600 mL. - Vaso de precipitación de 100 mL. - Termómetro - Varilla de agitación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. - Agua destilada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 25 g de almidón en un vidrio de reloj. - Disolver el almidón en agua en un vaso de precipitación de 600 mL y completar un volumen de 500 mL. - Calentar el vaso con la solución en el reverbero hasta su ebullición, agitar constantemente. - Enfriar el gel producido hasta una temperatura de 15 °C. - Tomar una alícuota de 15 mL del producto en un vaso de precipitación de 100 mL. - Determinar la viscosidad del fluido a 25 °C y una velocidad de 10 RPM. - Registrar los valores obtenidos. 	-	(Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).
5	Cenizas	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Mufla. - Desecador. - Pinza para crisol. - Crisol. - Guantes térmicos. - Espátula. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lavar, secar, pesar y enfriar los crisoles. - Secar los crisoles en la mufla por 5 horas a una temperatura de 550 °C. - Pesar 5 g de almidón en los crisoles tarados. - Quemar la muestra en la mufla a en diferentes intervalos de tiempo con un incremento de temperatura de 50 °C, este proceso se lo realiza puesto que al momento de cerrar la mufla no deben existir gases que emanen de la muestra. 	$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)} \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$ <p>Ecuación 2-2: Cálculo del porcentaje de cenizas de una muestra de almidón.</p>	(Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).

				<ul style="list-style-type: none"> - Cuando la muestra esté totalmente quemada introducir en la mufla a una temperatura de 550 °C y cerrar la tapa. - Retirar los crisoles de la mufla y dejar enfriar en el desecador. - Pesar los crisoles hasta obtener un peso constante. - Registrar los pesos de los crisoles con las cenizas. 		
6	Temperatura de gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Vasos de precipitación de 100 mL. - Pizas. - Termómetro de mercurio. - Equipo de baño maría. - Espátula. - Varilla de agitación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón de quinua. - Agua destilada. - Agua purificada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 10 g de almidón y disolver en agua destilada, verter en un vaso de precipitación hasta completar los 100 mL. - Encender el equipo de baño maría y calentar el agua purificada a una temperatura de 85 °C. - Introducir los vasos con la solución de almidón en el agua del equipo de baño maría y agitar constantemente hasta que se forme una especie de pasta hasta que la temperatura del fluido sea constante por unos segundos. - Registrar la temperatura de gelatinización. 	-	(Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.3. Obtención de óxido de grafeno

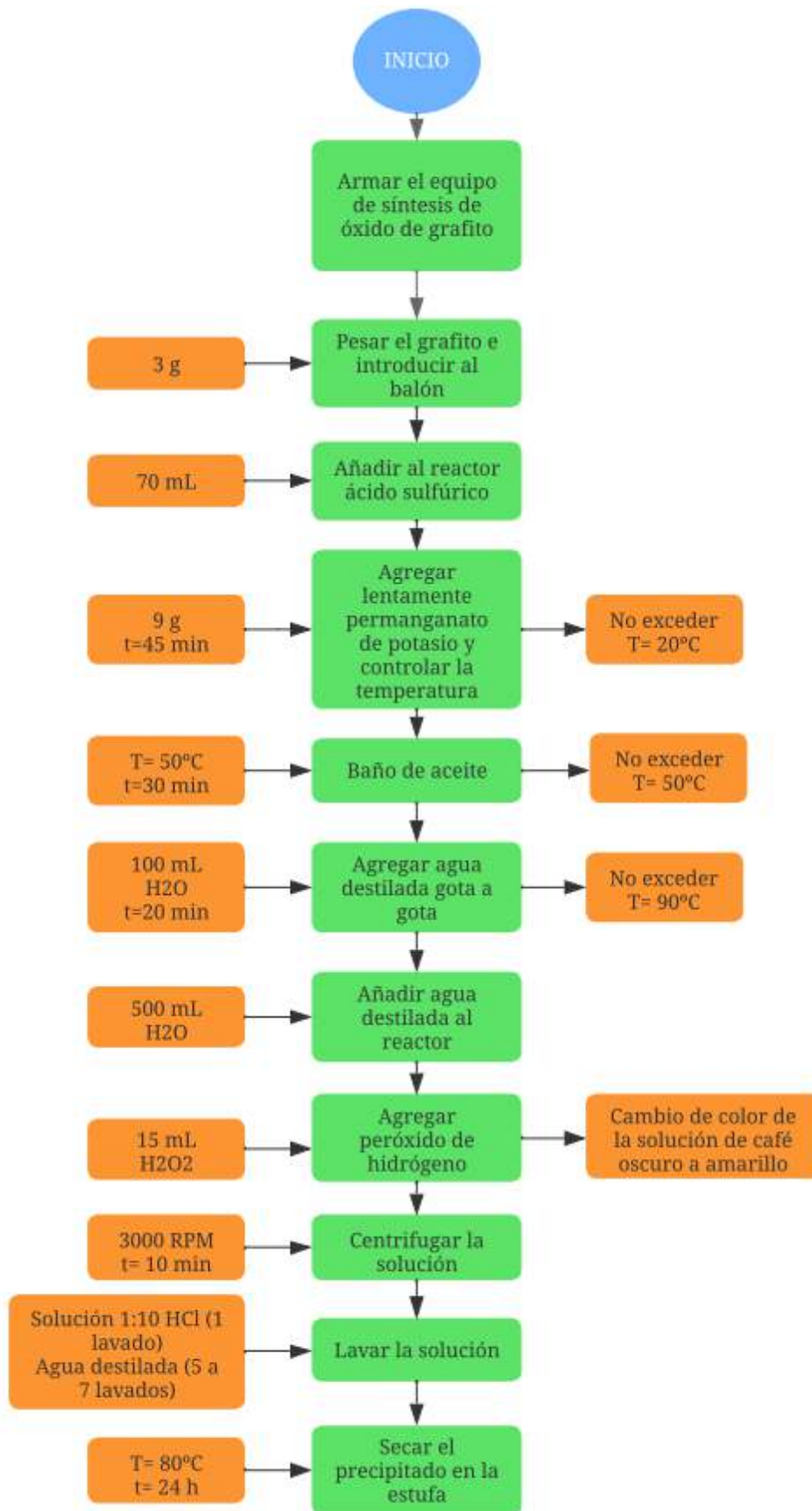
Tabla 7-2: Metodología para obtener el óxido de grafeno

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de ensayo
Hummers modificado	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Matraz de fondo redondo con 3 bocas. - Espátula. - Campana de extracción de gases. - Olla de aluminio. - Reverbero. - Corchos. - Agitador magnético. - Magneto. - Balón de aforo de 100 mL. - Tubo refrigerante de bolas. - Aceite de cocina. - Bureta de 10 mL. - Pipeta de 10 mL. - Vasos de precipitación. - Vidrio reloj. - Termómetro digital. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grafito - Permanganato de potasio (KMnO₄) - Agua destilada (H₂O) - Ácido sulfúrico (H₂SO₄) - Ácido clorhídrico (HCl) - Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) 	<ul style="list-style-type: none"> - Armar el sistema de materiales para sintetizar el óxido de grafito. - Agregar 3 g de grafito en el matraz de fondo redondo de 3 bocas. - Agregar 70 mL de H₂SO₄ al mismo matraz y encender el sistema de agitación con el magneto, la agitación permanece de forma vigorosa durante todo el proceso. - De forma lenta durante 45 minutos, agregar 9 g de KMnO₄ y verificar en el termómetro digital que la temperatura no sobrepase los 20 °C, si esto ocurre se debe controlar la temperatura con el baño de hielo sobre el matraz de tres bocas. - Realizar un baño de aceite al matraz de tres bocas, este fluido fue calentado a una temperatura de 50 °C, en este proceso la temperatura no debe sobrepasar los 50 °C por 30 minutos, continuar con la agitación vigorosa. - Agregar 150 mL de agua destilada al reactor gota por gota con ayuda de la bureta, este proceso tiene una duración de 20 minutos. La temperatura incrementará a 90 °C debido a la reacción, misma que deberá ser controlada por 20 minutos ya sea con baños de hielo o de aceite. - Adicionar 500 mL de agua destilada al reactor. - Con la bureta, agregar gota a gota 15 mL de H₂O₂, en este paso la solución inicialmente con color café oscuro se torna amarillo, este cambio de color representa la presencia de óxido de grafito. - Centrifugar la solución durante 10 minutos a 3000 RPM. - Lavar el precipitado una vez con una solución de 1:10 de HCl. 	(Tubon, 2015, pp. 1-67)

	<ul style="list-style-type: none"> - Termómetro de mercurio. - Tubos para centrífuga de 50 mL. - Hielo. - Estufa con recirculación de aire. - pHmetro. - Recipientes pyrex. - Pera de succión. - Soporte universal. - Pinzas para soporte universal. - Nuez. - Parafilm. - Centrífuga. 		<ul style="list-style-type: none"> - Lavar el precipitado de 5 a 7 veces con agua destilada hasta obtener un pH de 7. - Secar el precipitado en la estufa con recirculación de aire a una temperatura de 80 °C por 24 horas, para este paso se deben utilizar los recipientes pyrex. - Recuperar el material completamente seco. - Disolver el material seco, para esto tomar en cuenta que por cada gramo de material utilizar 1 litro de agua destilada. - La solución homogénea deberá ser sonicada por 1 hora. - Centrifugar la solución obtenida a 1000 RPM por un tiempo de 30 minutos. - El sobrenadante obtenido es óxido de grafeno, mismo que es menos denso que el sedimento que corresponde a óxido de grafito que no ha sido exfoliado. 	
--	--	--	---	--

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.3.1. Diagrama de flujo para la obtención del óxido de grafeno



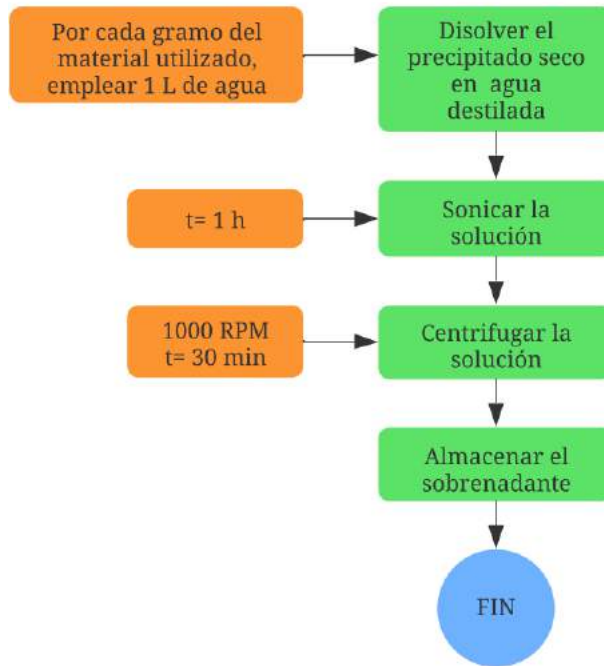


Gráfico 2-2: Diagrama de la obtención de óxido de grafeno.

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.4. Técnica de obtención de bioplástico

Tabla 8-2: Metodología para obtener el bioplástico

Método	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de ensayo
Obtención de bioplástico	<ul style="list-style-type: none"> - Reverbero. - Vasos de precipitación de 250 mL. - Balanza analítica. - Estufa con recirculación de aire. - Cajas petri. - Espátula. - Probetas graduadas. - Termómetro. - Varilla de agitación. - Moldes de vidrio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada (H₂O). - Óxido de grafeno. - Glicerina. - Almidón de quinua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar el almidón de quinua en base a las formulaciones determinadas. - En un vaso de precipitación, adicionar el almidón juntamente con agua destilada y agitar. - Llevar el vaso de precipitación al equipo de baño maría previamente calentado a 85 °C. - Adicionar la glicerina (glicerina) y el óxido de grafeno en base a las formulaciones determinadas, durante este proceso se debe agitar constantemente para obtener una mezcla homogénea. - Verter la mezcla en cajas petri y en moldes de vidrio. - Llevar la muestra a la estufa a una temperatura de 75 °C. - Cuando las muestras estén completamente secas, retirar de las cajas petri y los moldes de vidrio para posteriormente almacenarlos. 	(Charro, 2015, pp. 23-26).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.4.1. Diagrama de flujo para la elaboración de bioplásticos con óxido de grafeno

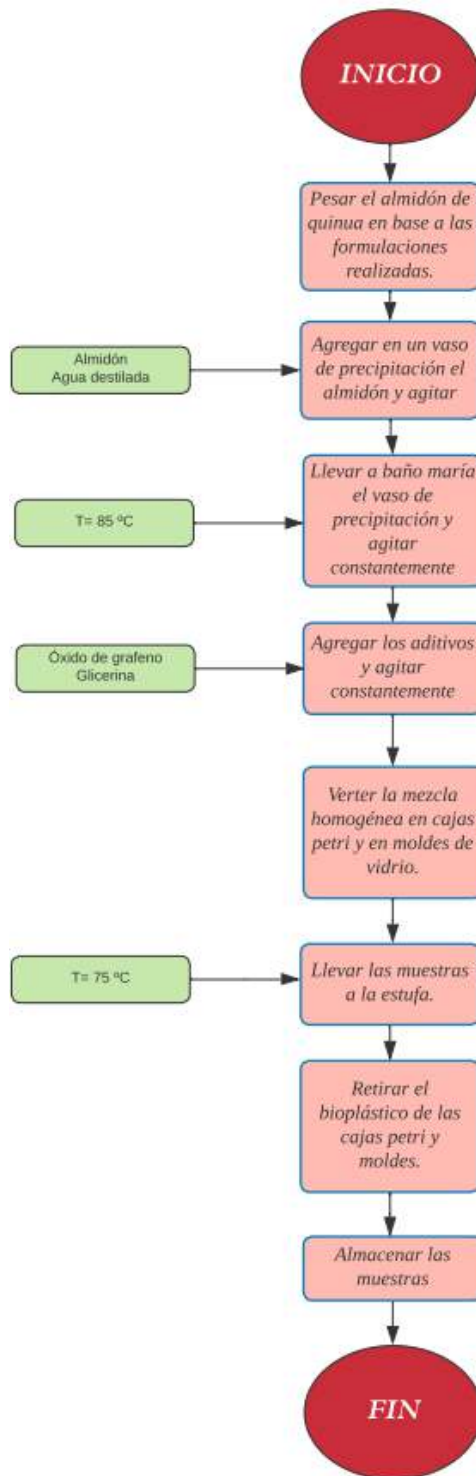


Gráfico 3-2: Diagrama de la elaboración de bioplástico

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

2.11.5. Caracterización del bioplástico

Tabla 9-2: Caracterización del plástico biodegradable

N.º	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Cálculo	Método de ensayo
1	Espesor	<ul style="list-style-type: none"> - Láminas de bioplástico. - Calibrador digital. - Estilete. 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Medir el grosor de cada una de las láminas de bioplástico obtenidas con el calibrador digital. - Recortar las películas con medidas de 2,5 cm x 2,5 cm. - Registrar las mediciones reales obtenidas. 	Medición directa	(Guamán, 2019, pp. 11-16)
2	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> - Estufa. - Láminas de bioplástico. - Balanza analítica. - Crisoles. 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Encender la balanza de humedad e iniciar la medición. - Encerar el recipiente en el que se pone las muestras de bioplástico. - Colocar las láminas de plástico sobre el recipiente. - Cerrar la tapa del equipo y espera la medición. 	La medición realizada directamente por la termobalanza, únicamente se deben registrar los datos.	Termobalanza
3	Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Cajas petri. - Shaker. - Medio filtrante. - Estufa. - Balanza analítica. - Cronómetro. 	- Agua desionizada	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar los bioplásticos obtenidos en vasos de precipitación. - Agregar 80 mL de agua desionizada. - Agitar en el Shaker el vaso de precipitación a 100 RPM por 60 minutos. 	<p>% de solubilidad = $\frac{PIBS - PFBS}{PIBS} \times 100$</p> <p>Ecuación 3-2: Porcentaje de solubilidad.</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PIBS= peso inicial de la biopelícula seca. 	(Guamán, 2019, pp. 11-16)

				<ul style="list-style-type: none"> - Filtrar las muestras y llevarlas a la estufa a una temperatura de 40 °C hasta que esté completamente secas. - Elevar la temperatura a 105 °C para tener un peso constante. 	<ul style="list-style-type: none"> • PFBS= peso final de la biopelícula seca. 	
4	Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Tubos de ensayo. - Bioplástico. - Cinta de embalaje. - Gradilla. - Desecador. - Solución de NaCl sobresaturada. - Calibrador digital. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gel de sílice activado a 200 °C por 24 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Llenar ¾ partes de los tubos de ensayo con gel de sílice activado. - Cortar las películas de bioplástico en medidas de 3 cm x 3 cm. - Cubrir las bocas de los tubos de ensayo con las películas biodegradables cortadas. - Sellar herméticamente con cinta las biopelículas y el tubo de ensayo. - Colocar en una gradilla los tubos. - Colocar las muestras dentro de un desecador a temperatura ambiente. - Realizar el pesaje de las muestras cada hora por 7 veces y una vez luego de 24 horas luego del último pesaje. 	$WVP = \frac{(P2 - P1) * e}{t * pv * (\phi2 - \phi1)}$ <p>Ecuación 4-2: Permeabilidad de vapor de agua del bioplástico.</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • P1: Peso inicial (g). • P2: Peso final (g). • t: tiempo empleado (h). • e: espesor (mm). • pv: presión de vapor de agua (MPa). • φ2: humedad relativa 2. • φ1: humedad relativa 1. 	<p>ASTM D1653-93</p> <p>Métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico.</p>
5	Tracción	<ul style="list-style-type: none"> - Probetas para prueba de tracción. - Maquina universal para 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar el equipo de pruebas. - Ajustar los extremos de las probetas de prueba en el equipo. - Iniciar la prueba en el equipo. - Registrar los valores obtenidos. 	<p>Los resultados obtenidos son en base a la elongación presentada por la probeta de bioplástico por acción de la fuerza ejercida por el equipo,</p>	<p>NTE INEN 2635:012.</p> <p>Métodos de ensayo para las propiedades de tracción de</p>

		pruebas de tracción.			corresponde a un método de medición directa.	láminas plásticas delgadas.
6	Biodegradabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Láminas de bioplástico. - Recipientes. - Programa Image J 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar cortes de la biopelícula de 4 cm x 4 cm. - Colocar las muestras en los tres medios: suelo, agua y ambiente. - Analizar las muestras en el programa image J cada 3 días. - Registrar los valores de las variaciones de las áreas obtenidas. 	<p style="text-align: center;">%Biodegradabilidad</p> $= \frac{\text{Área inicial} - \text{Área final}}{\text{Área inicial}} * 100$ <p>Ecuación 5-2: Cálculo de la biodegradabilidad.</p>	Método de disminución de área.

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Datos

3.1.1. Ensayos fisicoquímicos realizados con la materia prima y el almidón

3.1.1.1. Caracterización física de los granos de quinua

Para la caracterización de los granos de quinua, se tomó una muestra de 20 granos elegidos totalmente al azar para que sean sometidos a las pruebas de diámetro y grosor con ayuda de un calibrador, mismas que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 1-3: Caracterización de la quinua

No.	Producto	Diámetro (mm)	Grosor (mm)
1	Granos de quinua	2,100	0,900
2		1,800	0,800
3		2,100	0,800
4		2,100	0,900
5		2,100	0,800
6		2,000	1,000
7		1,900	0,800
8		2,100	0,700
9		1,900	0,800
10		1,900	0,800
11		2,100	0,800
12		2,100	1,000
13		1,900	0,700
14		1,900	0,900
15		1,900	1,000
16		2,000	1,000
17		1,900	0,800
18		2,100	0,800
19		2,100	0,600
20		2,000	0,900

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.1.2. Extracción del almidón de quinua

Para la presente experimentación se trabajó con las constantes de velocidad y tiempo de licuado de 3000 RPM y 60 segundos respectivamente puesto que corresponde al mejor tratamiento para la obtención del almidón, según los datos a los que llegó en investigaciones anteriores, teniendo un solo tratamiento y 39 repeticiones debido a la cantidad de materia prima adquirida, el proceso anteriormente mencionado es detallado en la siguiente tabla.

Tabla 2-3: Rendimiento del almidón obtenido

No.	Producto	Tratamiento	Constantes	Volumen de agua (mL)	Tiempo de secado (h)	Repetición	Peso (g)			
							Producto	Total	Almidón	
									Individual	Total
1	Quinua	TBQ	v=3000 RPM t=60 s	500	24	R1	200,066	7.802,571	24,863	958,094
2						R2	200,181		23,381	
3						R3	200,063		25,159	
4						R4	200,007		24,897	
5						R5	200,014		25,171	
6						R6	200,038		24,849	
7						R7	200,062		23,862	
8						R8	200,043		24,069	
9						R9	200,082		24,882	
10						R10	200,040		25,263	
11						R11	200,009		23,262	
12						R12	200,066		24,282	
13						R13	200,004		25,296	
14						R14	200,066		23,918	
15						R15	200,045		25,267	
16						R16	200,002		24,851	

17				R17	200,013	25,012
18				R18	200,012	24,786
19				R19	200,092	24,621
20				R20	200,016	25,312
21				R21	200,070	24,858
22				R22	200,080	24,791
23				R23	200,090	23,112
24				R24	200,041	24,675
25				R25	200,018	25,334
26				R26	200,091	24,731
27				R27	200,082	23,182
28				R28	200,079	25,138
29				R29	200,006	24,706
30				R30	200,055	24,354
31				R31	200,079	25,378
32				R32	200,133	23,733
33				R33	200,045	25,145
34				R34	200,021	24,621
35				R35	200,111	23,351
36				R36	200,021	25,141
37				R37	200,604	24,604
38				R38	200,012	24,014
39				R39	200,012	24,223

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.2. Síntesis del óxido de grafeno

Para la obtención de óxido de grafeno se utilizaron reactivos como grafito, ácido sulfúrico (H_2SO_4), permanganato de potasio ($KMnO_4$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y agua destilada que al reaccionar en el equipo requerido se obtuvo óxido de grafito y posteriormente óxido de grafeno mediante lavados, secados y centrifugaciones, en la tabla siguiente se muestran los datos determinados experimentalmente.

Tabla 3-3: Obtención de óxido de grafeno

Materia Prima	Peso (g)	Producto intermedio	Peso (g)	Producto final	Peso (g)
Grafito	3,000	Óxido de grafito	3,405	Óxido de grafeno	2,548

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.3. Caracterización fisicoquímica y mecánica del bioplástico

3.1.3.1. Formulación del bioplástico con ácido acético

Para elaborar el bioplástico denominado base se utilizaron los valores de concentraciones y volúmenes del mejor tratamiento determinado en la investigación de (Ledesma, 2021, pp. 37-50), este tratamiento resultó ser el mejor en cuanto a las propiedades mecánicas analizadas.

Tabla 4-3: Bioplástico base

N.º	Tratamiento	Cantidad de almidón (g)	Cantidad de glicerina (mL)	Cantidad de agua destilada (mL)	Cantidad de ácido acético (mL)	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)
1	TQ-1	2,000	2,000	25,000	4,000	24	22

Fuente: (Ledesma, 2021, pp. 37-50).

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.3.2. Formulación del bioplástico con óxido de grafeno

Para la elaboración del bioplástico se tomaron las cantidades de almidón, glicerina y agua destilada estipuladas en base al mejor tratamiento de investigaciones anteriores y la adición del óxido de grafeno correspondió a un modelo totalmente al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones de cada uno, obteniendo un total de 24 repeticiones experimentales.

Tabla 5-3: Formulaciones del bioplástico con óxido de grafeno

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	TBQ-1	2	2	25	0,500	R1	35	19			
	R2										
	R3										
	R4										
2	TBQ-2							1,000	R1	35	19
	R2										
	R3										
	R4										
3	TBQ-3							1,500	R1	30	19
	R2										
	R3										
	R4										
4	TBQ-4							2,000	R1	30	19
	R2										
	R3										
	R4										
5	TBQ5							2,500	R1	35	19
	R2										
	R3										
	R4										
6	TBQ-GO6							3,000	R1	30	19
	R2										
	R3										
	R4										

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

Las muestras empleadas para las pruebas que se detallan a continuación tuvieron como dimensiones 3x3 cm para cada repetición.

- *Espesor de las películas biodegradables*

Para la determinación del espesor de las películas de bioplástico se realizaron 10 mediciones en diferentes zonas de las muestras de cada tratamiento de bioplástico para obtener datos más aproximados.

Tabla 6-3: Ensayo de espesor de los plásticos

N.º	Tratamiento	Repetición	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)	M4 (mm)	M5 (mm)	M6 (mm)	M7 (mm)	M8 (mm)	M9 (mm)	M10 (mm)
1	TBQ-1	R1	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200
		R2	0,200	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,200
		R3	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
		R4	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,100
2	TBQ-2	R1	0,200	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100
		R2	0,200	0,100	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100
		R3	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,200	0,200	0,100
		R4	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
3	TBQ-3	R1	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200	0,200
		R2	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100
		R3	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R4	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
4	TBQ-4	R1	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200
		R2	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200
		R3	0,100	0,200	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
		R4	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200	0,200
5	TBQ-5	R1	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200
		R2	0,200	0,200	0,100	0,200	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	0,200	0,200	0,200
		R4	0,100	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,200	0,100	0,100	0,100
6	TBQ-6	R1	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,100	0,100	0,100
		R2	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200	0,100	0,200
		R3	0,100	1,000	0,200	0,100	0,200	0,100	0,200	0,200	0,200	0,100
		R4	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,200

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- *Ensayo de humedad del bioplástico*

La metodología empleada para el ensayo de humedad es con la termobalanza o balanza de humedad, en la cual ingresa la base de medición, misma que debe ser encerada, para posteriormente introducir la muestra y dar inicio al proceso de determinación del porcentaje de humedad.

Tabla 7-3: Prueba de humedad de los bioplásticos

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso inicial de la película	Peso final de la película seca
1	TBQ-1	R1	0,395	0,346
		R2	0,388	0,339
		R3	0,391	0,343
		R4	0,404	0,351
2	TBQ-2	R1	0,302	0,260
		R2	0,313	0,271
		R3	0,307	0,268
		R4	0,300	0,263
3	TBQ-3	R1	0,184	0,159
		R2	0,178	0,154
		R3	0,182	0,157
		R4	0,189	0,164
4	TBQ-4	R1	0,344	0,299
		R2	0,329	0,287
		R3	0,339	0,296
		R4	0,321	0,278
5	TBQ-5	R1	0,312	0,274
		R2	0,312	0,270
		R3	0,302	0,266
		R4	0,314	0,272
6	TBQ-6	R1	0,395	0,340
		R2	0,411	0,355
		R3	0,415	0,361
		R4	0,395	0,342

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlín, 2022.

- *Solubilidad del bioplástico*

La prueba de solubilidad fue desarrollada empleando las muestras de bioplástico que culminaron el ensayo de humedad, el equipo utilizado para esta prueba fue en primera instancia un shaker, el cual fue programado a una velocidad de 100 rpm por 60 minutos, aparato en el cual se introdujeron las muestras en vasos de precipitación que posteriormente fueron filtradas al vacío para luego ser secadas en una estufa a 40° C hasta que estén completamente secas y luego a 105° hasta obtener un peso constante.

Tabla 8-3: Prueba de solubilidad de los bioplásticos

N.º	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	TBQ-1	R1	0,346	0,204
		R2	0,339	0,208
		R3	0,343	0,211
		R4	0,351	0,208
2	TBQ-2	R1	0,260	0,154
		R2	0,271	0,163
		R3	0,268	0,156
		R4	0,263	0,157
3	TBQ-3	R1	0,159	0,092
		R2	0,154	0,087
		R3	0,157	0,091
		R4	0,164	0,095
4	TBQ-4	R1	0,299	0,171
		R2	0,287	0,162
		R3	0,296	0,171
		R4	0,278	0,161
5	TBQ-5	R1	0,274	0,159
		R2	0,270	0,156
		R3	0,266	0,154
		R4	0,272	0,153
6	TBQ-6	R1	0,340	0,198
		R2	0,355	0,200
		R3	0,361	0,199
		R4	0,342	0,203

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- *Permeabilidad de vapor de los bioplásticos*

Para el ensayo de permeabilidad de vapor se utilizaron muestras de 3x3 cm para cada tratamiento, se registraron en total 8 pesos en esta prueba.

Tabla 9-3: Ensayo de permeabilidad de vapor de los bioplásticos

N.º	Tratamiento	Repetición	Espesor (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Peso 5 (g)	Peso 6 (g)	Peso 7 (g)	Peso 8 (g)
1	TBQ-1	R1	0,100	29,541	29,549	29,554	29,555	29,557	29,558	29,560	29,614
		R2	0,100	29,622	29,627	29,633	29,635	29,638	29,639	29,641	29,697
		R3	0,200	29,467	29,474	29,481	29,482	29,483	29,485	29,487	29,535
		R4	0,100	28,997	29,005	29,011	29,013	29,015	29,016	29,017	29,068
2	TBQ-2	R1	0,100	30,575	30,580	30,584	30,586	30,588	30,590	30,594	30,649
		R2	0,200	30,488	30,493	30,498	30,500	30,501	30,502	30,504	30,553
		R3	0,100	31,012	31,017	31,023	31,025	31,028	31,029	31,030	31,088
		R4	0,100	29,766	29,771	29,776	29,777	29,779	29,781	29,782	29,837
3	TBQ-3	R1	0,200	29,933	29,939	29,943	29,945	29,949	29,951	29,952	30,001
		R2	0,100	29,005	29,012	29,017	29,019	29,022	29,023	29,024	29,075
		R3	0,100	28,887	28,892	28,896	28,898	28,900	28,902	28,903	28,957
		R4	0,100	29,610	29,618	29,622	29,625	29,629	29,630	29,631	29,683
4	TBQ-4	R1	0,100	30,592	30,596	30,601	30,604	30,607	30,610	30,612	30,661
		R2	0,100	31,010	31,015	31,018	31,021	31,023	31,025	31,026	31,031
		R3	0,200	30,033	30,037	30,042	30,045	30,047	30,049	30,050	30,056
		R4	0,200	30,861	30,867	30,871	30,873	30,877	30,878	30,880	30,886
5	TBQ-5	R1	0,100	31,078	31,083	31,086	31,089	31,091	31,093	31,094	31,145
		R2	0,200	32,007	32,011	32,015	32,018	32,020	32,023	32,025	32,030
		R3	0,100	32,031	32,037	32,042	32,044	32,047	32,048	32,049	32,054
		R4	0,200	32,003	32,007	32,010	32,012	32,014	32,015	32,016	32,021
6	TBQ-6	R1	0,100	30,603	30,608	30,609	30,610	30,613	30,617	30,618	30,668
		R2	0,100	31,006	31,011	31,015	31,016	31,020	31,022	31,024	31,029
		R3	0,200	30,132	30,136	30,139	30,141	30,143	30,145	30,147	30,152
		R4	0,200	30,302	30,306	30,308	30,311	30,314	30,316	30,317	30,321

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- *Pruebas de biodegradabilidad*

Los ensayos de biodegradabilidad fueron llevados a cabo en 3 medios diferentes como son el suelo, el agua y el medio ambiente, para la determinación de áreas conforme pasen los días de degradación se utilizó el software Image J, mismo que facilita la medición de áreas y emite un valor muy exacto.

• *Biodegradabilidad del bioplástico en el ambiente*

Tabla 10-3: Áreas para la biodegradabilidad al ambiente

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área día 3 (cm ²)	Área día 6 (cm ²)	Área día 9 (cm ²)	Área día 12 (cm ²)	Área día 15 (cm ²)
1	TBQ-1	9,971	9,949	8,863	8,952	8,706	8,415
2	TBQ-2	9,764	9,737	9,726	9,199	8,796	8,609
3	TBQ-3	9,514	9,496	9,087	8,834	8,714	8,436
4	TBQ-4	9,475	9,347	8,995	8,742	8,674	8,420
5	TBQ-5	9,360	9,207	8,938	8,927	8,561	8,457
6	TBQ-6	8,898	8,830	8,447	8,363	8,356	8,219

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

• *Áreas para la biodegradabilidad del bioplástico en el agua*

Tabla 11-3: Áreas para la biodegradabilidad en agua

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área día 3 (cm ²)	Área día 6 (cm ²)	Área día 9 (cm ²)	Área día 12 (cm ²)	Área día 15 (cm ²)
1	TBQ-1	8,982	10,540	11,139	11,537	12,274	11,274
2	TBQ-2	8,909	10,633	11,015	11,248	11,430	10,977
3	TBQ-3	9,204	10,759	11,275	11,366	11,587	10,858
4	TBQ-4	8,908	9,592	11,248	11,488	12,236	11,578
5	TBQ-5	9,169	10,486	10,534	10,672	11,658	10,737
6	TBQ-6	8,828	10,835	10,533	11,152	11,497	10,753

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

- *Áreas para la biodegradabilidad del bioplástico en el suelo*

Tabla 12-3: Áreas para la biodegradabilidad en agua

N.º	Tratamiento	Área inicial (cm ²)	Área día 3 (cm ²)	Área día 6 (cm ²)	Área día 9 (cm ²)	Área día 12 (cm ²)	Área día 15 (cm ²)
1	TBQ1	8,980	7,793	6,685	6,586	6,182	5,763
2	TBQ2	8,881	7,791	6,865	6,588	6,299	5,861
3	TBQ3	8,927	7,936	6,262	6,247	6,193	6,002
4	TBQ4	9,005	8,277	7,025	6,503	6,375	6,010
5	TBQ5	8,935	8,242	7,315	6,754	6,264	5,124
6	TBQ6	9,212	8,359	6,033	5,191	4,875	4,401

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.4. Datos de la valoración económica

3.1.4.1. Obtención del almidón

Tabla 13-3: Insumos utilizados

Proceso	N.º	Insumos	Cantidad	Costo insumo
Obtención de almidón	1	Materia prima	7802,571 g	\$ 23,408
	2	Agua	19500 mL	\$ 12,863
			Total	\$ 36,271

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.4.2. Obtención del óxido de grafeno

Tabla 14-3: Insumos empleados

Proceso	N.º	Insumos	Cantidad	Costo insumo
Obtención del óxido de grafeno en solución	1	Grafito	3g	15,000
	2	H2SO4	70 mL	1,056
	3	HCl	5 mL	0,255
	4	Agua	650 mL	0,429
	5	KMnO4	9g	3,271
	6	H2O2	30 mL	0,479
	7	Aceite	1000mL	1,000
	8	Hielo	1 funda	0,74
	9	Caracterización del GO	análisis	100
			Total	122,230

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

3.1.4.3. Elaboración del bioplástico

Tabla 15-3: Insumos empleados

Proceso	N.º	Insumos	Cantidad	Costo insumo
Elaboración de bioplástico	1	Almidón	2,00 g	\$ 0,076
	2	Glicerina	2,00 mL	\$ 0,013
	3	Agua	25,00 mL	\$ 0,016
	4	GO en solución	0,500 mL	\$ 0,024
			1,000 mL	\$ 0,049
			1,500 mL	\$ 0,073
			2,000 mL	\$ 0,097
			2,500 mL	\$ 0,122
		3,0 00mL	\$ 0,146	

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

3.2. Cálculos

3.2.1. Ensayos del almidón y materia prima

3.2.1.1. Pruebas de la materia prima

- Porcentaje de solubilidad

Para conocer el porcentaje de solubilidad de la materia prima se aplicó la Ecuación: 1-2.

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{0,0830g * 28 \text{ ml} * 10/\text{ml}}{1,252 \text{ g}}$$

$$\% \text{ solubilidad} = 18,562\%$$

- Porcentaje de cenizas

Durante el ensayo de cenizas de empleó la Ecuación: 2-2 para obtener el resultado respectivo.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{0,0915g * 100}{5,021g}$$

$$\% \text{ cenizas} = 1,822\%$$

3.2.1.2. Pruebas del almidón

- Porcentaje de solubilidad

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{0,0440 \text{ g} * 28 \text{ ml} * 10/\text{ml}}{1,251 \text{ g}}$$
$$\% \text{ solubilidad} = 9,848\%$$

- Porcentaje de cenizas

$$\% \text{ cenizas} = \frac{0,0515 \text{ g} * 100}{5,003 \text{ g}}$$
$$\% \text{ cenizas} = 1,029\%$$

- Cálculo del rendimiento

Para determinar el rendimiento del almidón de quinua se hace uso de la ecuación siguiente para cada repetición y al final los valores deben ser promediados con el número total de repeticiones realizadas.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del almidón obtenido}}{\text{Peso de la materia prima utilizada}} * 100$$

Ecuación 1-3: Rendimiento del almidón.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{958,094 \text{ g}}{7802,571 \text{ g}} * 100$$
$$\% \text{Rendimiento} = 12,279 \%$$

3.2.2. Síntesis del óxido de grafeno

3.2.2.1. Rendimiento del óxido de grafito

Para determinar el rendimiento del óxido de grafito se hace uso de la ecuación siguiente que relaciona el peso de óxido obtenido y el peso de la materia prima con la que se da inicio a la síntesis, en este caso el grafito.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del óxido de grafito obtenido}}{\text{Peso de la materia prima utilizada}} * 100$$

Ecuación 2-3: Rendimiento del óxido de grafito.

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

$$\% \text{Rendimiento} = 113,500 \%$$

3.2.2.2. Rendimiento del óxido de grafeno

Para determinar el rendimiento del óxido de grafeno obtenido se hace uso de la ecuación siguiente que relaciona el peso de óxido obtenido y el peso del óxido de grafito con el que se parte el proceso.

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

Ecuación 3-3: Rendimiento del óxido de grafeno.

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

$$\% \text{Rendimiento} = 74,831\%$$

3.2.3. Ensayos con el bioplástico

3.2.3.1. Porcentaje de solubilidad

Se realizaron los cálculos para la solubilidad de cada una de las 4 repeticiones propias de cada tratamiento, para este cálculo se toman los datos de la repetición 1 del primer tratamiento.

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{0,346 - 0,204}{0,346} * 100$$

$$\% \text{Solubilidad} = 41,040 \%$$

3.2.3.2. Porcentaje de permeabilidad

Se realizaron los cálculos para la permeabilidad de cada una de las 4 repeticiones propias de cada tratamiento, para este cálculo se toman los datos de la repetición 1 del primer tratamiento y la Ecuación: 4-2.

$$WVP = \frac{(29,614 - 29,541) \text{ g} * 0,1 \text{ mm}}{24 \text{ h} * 0,0028 \text{ MPa} * (75 - 0)}$$

$$WVP = 0,0014 \frac{\text{g} * \text{mm}}{\text{h} * \text{MPa}}$$

3.2.3.3. Porcentaje de biodegradabilidad

Se calculó el porcentaje de biodegradabilidad de las películas en 3 diferentes medios, los valores fueron registrados cada 72 horas en base a la Ecuación: 5-2, para este cálculo se toman los datos del primer tratamiento en el que la muestra está en el suelo para mostrar el porcentaje de degradabilidad correspondiente al doceavo día.

$$\%Biodegradabilidad = \frac{8,980 - 5,782}{8,980} * 100$$

$$\%Biodegradabilidad = 35,612$$

3.2.3.4. Cuadrado de error medio

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

$$Mse = \frac{54,307}{18}$$

$$Mse = 3,017$$

3.2.3.5. Diferencia honestamente significativa

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

$$HSD = 4,490 * \sqrt{\frac{3,017}{4}}$$

$$HSD = 3,900$$

3.3. Resultados

3.3.1. Ensayos con el almidón y la materia prima

3.3.1.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica

La caracterización de la materia prima y del almidón fue realizada en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en el Laboratorio de Servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos en agua y alimentos (SAQMIC) mediante la utilización de diferentes métodos y técnicas.

Tabla 16-3: Caracterización realizada

PRODUCTO	No.	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA / INSTITUCIÓN
Quinua	1	Humedad	%	13,710	-	FAO
	2	Ceniza	%	1,822	-	FAO
	3	Solubilidad	%	18,562	-	FAO
	4	pH	-	6,120	-	FAO
	5	Fibra	%	4,010	-	SAQMIC
	6	Proteína	%	10,850	-	SAQMIC
	7	Viscosidad	cP	25,070	-	FAO
	8	Hongos	UFC/g	210	Min: 1×10^3 Máx: 1×10^4	SAQMIC
	9	Levaduras y mohos	UFC/g	210	Min: 1×10^3 Máx: 1×10^4	SAQMIC
	10	Coliformes totales	UFC/g	60	-	SAQMIC
Almidón de quinua	1	Humedad	%	11,830	10 - 13	FAO
	2	Ceniza	%	1,029	0,060 - 1,300	FAO
	3	Solubilidad	%	9,848	0,270 - 12,320	FAO
	4	pH	-	6,370	6 - 6,500	FAO
	5	Viscosidad	cP	1479,330	840 - 1500	FAO
	6	Temperatura de gelatinización	°C	74,670	70 - 90	FAO
	7	Amilosa	%	24,550	4 - 25	INIAP
	8	Amilopectina	%	75,450	75 - 96	INIAP
	9	Hongos	UFC/g	<10	Min: 1×10^3 Máx: 5×10^3	SAQMIC
	10	Levaduras y mohos	UFC/g	<10	Min: 1×10^3 Máx: 5×10^3	SAQMIC
	11	Coliformes totales	UFC/g	40	Min: 2×10^5 Máx: 3×10^5	SAQMIC

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En base a los resultados podemos decir que todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos estándares establecidos, cabe mencionar que los resultados de los ensayos de cenizas, solubilidad, humedad, pH y contenido de amilosa del almidón guardan relación con los datos obtenidos en la investigación de (Ledezma, 2021, pp. 37-50) al trabajar con la misma materia prima y además se encuentran dentro de la norma para almidones que propone (Aristizábal & Sánchez, 2007, pp. 61-91) en su guía.

3.3.1.2. Rendimiento de la extracción del almidón

A continuación, se muestra en una tabla el resultado en cuanto al rendimiento promedio de las 39 repeticiones realizadas bajo un solo tratamiento para la obtención de almidón de quinua mediante los procesos de licuado, cernido, decantación, secado y tamizado.

Tabla 17-3: Resultados del rendimiento del almidón de quinua

No.	Producto	Tratamiento	Rendimiento promedio (%)
1	Almidón de quinua	TQ	12,279

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Se realizó la extracción de almidón de quinua, a través de medios físicos que ayudan a la separación de este componente de los granos, obtenido rendimiento promedio de 12,28% de entre todas las repeticiones, se puede decir que el resultado es congruente ya que valor obtenido se aproxima al porcentaje de rendimiento de 12,1% al que llegó (Ledezma, 2021, pp. 37-50) en su trabajo investigativo, esto se debe a que los valores de volumen de agua, cantidad de materia prima, tiempo de licuado y velocidad de la licuadora fueron tomados como constantes al tratarse del mejor tratamiento en cuanto al aprovechamiento de almidón obtenido.

3.3.2. Síntesis del óxido de grafeno

3.3.2.1. Rendimiento de óxido de grafito

Se realizó la oxidación del grafito mediante diferentes reacciones químicas que ocurrieron por la interacción de los insumos y reactivos empleados en el reactor de tres bocas que fue utilizado para la experimentación.

Tabla 18-3: Rendimiento del óxido de grafito

Producto	Rendimiento (%)
Óxido de grafito	113,500

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los cambios producidos en la materia prima han sido a nivel molecular, como prueba de ello, (Yapu et al., 2013, pp.156-157) menciona que mientras ocurre la oxidación del grafito la hibridación del carbono es modificada de sp^2 a sp^3 , además se presenta un espaciado mayor entre las capas estructurales del grafito, esto se debe a la aparición de grupos funcionales como son los carboxílicos, los fenólicos, entre otros más que modifican el distanciamiento de capas provocando un incremento en este parámetro, a esta serie de cambios que han sucedido se le atribuye la razón por la cual el peso del óxido de grafito es mayor al peso de la materia prima que ingresó al reactor de tres bocas, por ende, se obtuvo un rendimiento mayor al 100%.

3.3.2.2. Rendimiento del óxido de grafeno

Para obtener el óxido de grafeno se realizaron una serie de lavados con una solución 1:10 de ácido clorhídrico y posteriormente con agua destilada para la regulación del pH de la solución, esto mediante el uso de una centrífuga de tubos falcon.

Tabla 19-3: Resultado del rendimiento del óxido de grafeno

Producto	Rendimiento obtenido (%)
Óxido de grafeno	74,831

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

El rendimiento del óxido de grafeno obtenido es del 74,831% esto se debe a la reducción del peso obtenido de óxido de grafito comparado con la cantidad inicial de óxido de grafito empleado, esta disminución de peso se debe según (Farías et al., 2017, pp. 3-5) a que en la oxidación del grafeno se produce una reacción de separación que aleja las capas externas del óxido de grafito que contiene de átomos de carbono, y a su vez provoca la exclusión de los grupos funcionales que se van agregando en las capas externas del óxido, de forma que las capas internas ya no incluyen los grupos funcionales y corresponden al grafito que no se exfolia completamente, debido a esta exclusión de los grupos funcionales, se obtiene un material con una red cristalina constituido por una delgada capa, puesto que solo consta de un átomo como espesor (Farías et al., 2017, pp. 3-5), esta información fue corroborada ya que en la experimentación se obtuvo una muy delgada lámina de grafeno que incluso dificultaba su remoción del pyrex luego del proceso final de secado.

3.3.2.3. Espectroscopía UV-Visible del óxido de grafeno

El óxido de grafeno sintetizado (GO) fue confirmado mediante el análisis con el equipo Thermo Scientific del laboratorio de investigación de la facultad de ciencias de la ESPOCH, mismo que realiza una espectroscopía UV-Visible analizando los picos que caracterizan al compuesto.

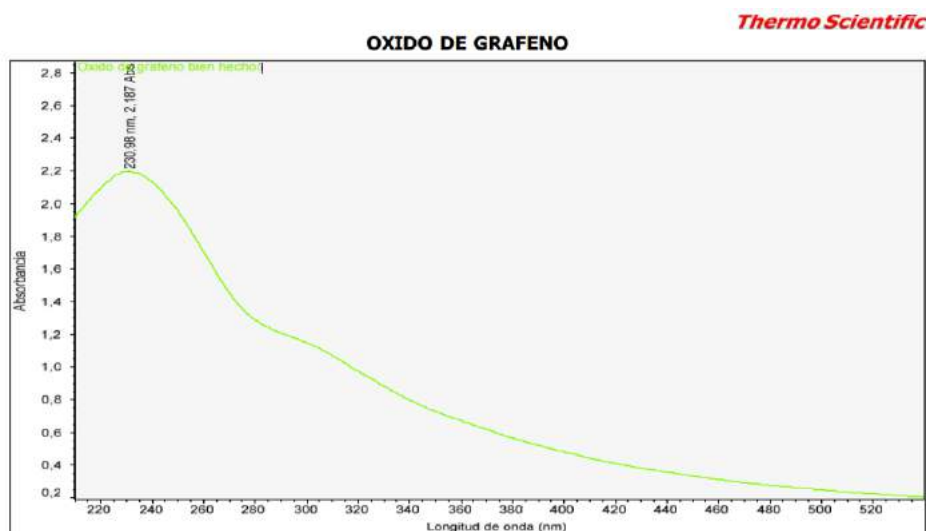


Gráfico 1-3: Resultados del UV-Visible

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

El espectro del GO mostrado en el gráfico anterior indica que el pico máximo de absorción fue de 230,98 nm, esta medida es causada por los enlaces aromáticos dobles del carbono, ya que estos sufren transición π - π^* como lo menciona (Lunavictoria, 2020, pp. 26-34) puesto que en su trabajo de titulación determinó el pico del óxido de grafeno con el que trabajó y obtuvo una medición de la longitud de onda igual a 229 nm, medida la cual corrobora el análisis realizado en la presente investigación.

3.3.2.4. Espectroscopía IR del óxido de grafeno y grafito

La espectroscopía IR es una herramienta que ayuda a determinar la presencia de grupos funcionales existentes en algún compuesto, este análisis es de gran ayuda al momento de caracterizar algún material y en esta ocasión fue utilizado para la caracterización de la estructura de dos derivados del carbono.

En el gráfico siguiente se muestra el espectro IR del óxido de grafeno, en el cual se observa que en el punto 3251,4 cm^{-1} se ha registrado una vibración debido a una acción de estiramiento del enlace del grupo hidroxilo que se encuentra en el grafito, mediante el registro de la banda de absorción en 2884,99 cm^{-1} se muestran estiramientos simétricos y antisimétricos de las unidades

CH presentes en el compuesto a través de los grupos $-CH_3$ y $-CH_2-$, por otro lado, el registro de del espectro realizado también muestra la presencia de: enlaces $-OH$ (en la banda de absorción $2823,28\text{ cm}^{-1}$), enlaces $C=O$ (vibraciones de estiramiento registradas desde $1720,19\text{ cm}^{-1}$ a $1616,06\text{ cm}^{-1}$) y enlaces $C-OH$ (vibraciones registradas en los grupos $C-O$ a $1160,94$) y como registro final en $883,238\text{ cm}^{-1}$ se puede identificar la presencia de grupos funcionales de tipo epóxido.

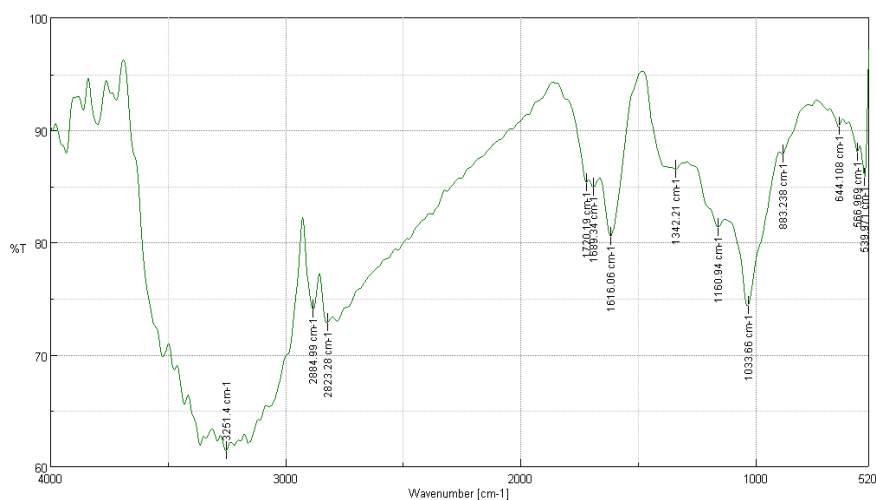


Gráfico 2-3: IR del óxido de grafeno

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los valores de picos obtenidos mediante el espectro del óxido de grafeno guardan relación con los que expone (Tubon, 2015, pp. 1-67) al caracterizar el óxido de grafeno obtenido en su investigación mostrando la presencia de grupos funcionales como epóxidos, carbonilos, carboxilos e hidroxilos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) llevada a cabo en un espectrofotómetro modelo Perkin Elmer Spectrum 100, algunos valores de los picos que se han determinado también se asemejan a los que obtuvo (Lunavictoria, 2020, pp. 26-34) en su investigación al sintetizar óxido de grafeno por el método de Hummers modificado, estos se encuentran dentro del rango establecido por (Shurvell, 2006, pp. 1791-1794) en su reporte de la estructura del espectro infrarrojo.

En cuanto al análisis IR del grafito utilizado para la síntesis de óxido de grafeno se puede apreciar en el gráfico siguiente que existen solamente pequeñas vibraciones que corresponden al ruido generado durante la medición, esto demuestra que no existe incorporaciones de grupos funcionales en el material analizado, lo que garantiza la pureza del grafito debido a que este está compuesto en un alto porcentaje por carbono, aproximadamente el 99%, por otra parte, se puede decir que la tendencia lineal de la gráfica es diferente en comparación a la del espectro del óxido de grafeno que presentó un registro de mayor número de picos.

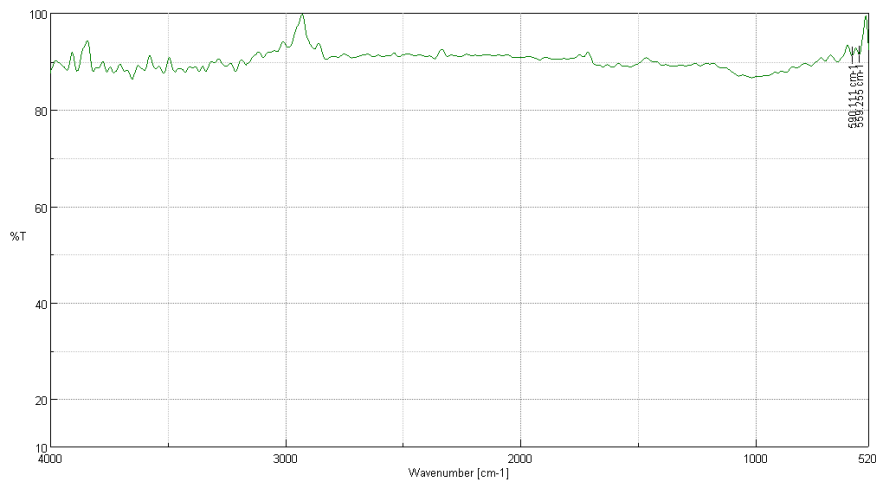


Gráfico 3-3: IR del grafito

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

3.3.2.5. Microscopía del óxido de grafeno

La microscopía del óxido de grafeno tiene como objetivo inspeccionar de forma más adentrada visiblemente la estructura y composición del óxido de grafeno, lo que se pudo observar mediante el microscopio óptico triocular con cámara marca Motic, del laboratorio de óptica y física moderna de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se muestra en la figura siguiente.



Figura 1-3: Microscopía del óxido de grafeno

Fuente: (Farías et al., 2017, pp. 3-5).

La figura muestra pequeñas agrupaciones del material analizado (óxido de grafeno), que asumen que representan la forma de velo con superficie estriada que ha determinado (Lunavictoria, 2020, pp. 26-34) que es propia del óxido de grafeno luego de ser exfoliado, este análisis lo realizó mediante

la microscopía electrónica de barrido (SEM) especificada en su trabajo investigativo, además de ello, se pudo apreciar su coloración oscura característica y la presencia de burbujas debido a la extracción de la solución del frasco que la contenía.

3.3.3. Ensayos con el bioplástico

Para cada tratamiento se presenta un resultado promedio de cada una de las pruebas que fueron realizadas a las láminas de bioplástico.

3.3.3.1. Análisis sensorial realizado

En la tabla siguiente se muestran los resultados relacionados a la prueba sensorial, misma que se realizó una vez obtenido las biopelículas de todos los tratamientos.

Tabla 20-3: Examen sensorial

N.º	Tratamiento	PARÁMETROS			
		Aspecto	Textura	Flexibilidad	Resistencia
1	TBQ-1	Transparente	Liso	Poco flexible	Débil
2	TBQ-2	Poco opaco	Liso	Poco flexible	Normal
3	TBQ-3	Opaco, ligera coloración oscura	Liso	Flexible	Fuerte
4	TBQ-4	Opaco, ligera coloración oscura	Liso	Flexible	Fuerte
5	TBQ-5	Opaco, mediana coloración oscura	Liso	Flexible	Fuerte
6	TBQ-6	Opaco, mediana coloración oscura	Liso	Flexible	Fuerte

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En base a los resultados obtenidos podemos decir que la adición del óxido de grafeno ha tenido incidencia en la coloración de la película biodegradable ya que conforme aumenta el volumen de óxido de grafeno la coloración oscura, propia del compuesto, aumenta; en cuanto a la textura todas las repeticiones presentaron una textura lisa; por otra parte al analizar la flexibilidad y resistencia, los tratamientos 1 y 2 son los menos fuertes y flexibles, los tratamientos restantes mostraron una mejoría en estos parámetros.

3.3.3.2. Promedio del espesor del bioplástico

De los ensayos de espesor realizados se obtuvieron los promedios de las 10 mediciones realizadas a un mismo producto en diferentes zonas de este, obteniendo así que el tratamiento que presenta un menor espesor es el TBQ-2 con 0,135 mm de promedio, por otra parte, el TBQ-6 resultó ser el que tiene el espesor promedio mayor con 0,165 mm.

Tabla 21-3: Resultados promediados del espesor

N.º	Tratamiento	Espesor promedio (mm)
1	TBQ-1	0,143
2	TBQ-2	0,135
3	TBQ-3	0,138
4	TBQ-4	0,143
5	TBQ-5	0,138
6	TBQ-6	0,165

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los valores registrados se encuentran dentro del rango de 0,1 a 0,2 mm que recomienda (Ledesma, 2021, pp. 37-50) en su trabajo investigativo, valores que además se acercan a lo que ella obtiene al trabajar con la misma materia prima que es la quinua, llegando a tener como el espesor promedio menor una medida de 0,12 mm y como espesor promedio mayor una medida de 0,17 mm.

3.3.3.3. Promedio de humedad del bioplástico

Tabla 22-3: Resultados promediados de la humedad del bioplástico

N.º	Tratamiento	Humedad promedio de las biopelículas (%)
1	TBQ-1	12,671
2	TBQ-2	13,096
3	TBQ-3	13,506
4	TBQ-4	13,036
5	TBQ-5	12,757
6	TBQ-6	13,499

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los ensayos de humedad fueron realizados en la termobalanza, al utilizar este equipo arrojó resultados que al ser promediados nos indican que el tratamiento que presentó una menor cantidad de agua fue el TBQ-1 con un 12,671 % de humedad y a su vez el tratamiento con una mayor cantidad de agua fue TBQ-3 con un 13,506 % de humedad.

3.3.3.4. Promedio de solubilidad del bioplástico

En cuanto a la solubilidad presentada por los bioplásticos se logró determinar que el tratamiento con menor solubilidad fue el TBQ-1 con un 39,73% de solubilidad, por otra parte, el tratamiento más soluble fue el TBQ-6 presentando un 42,74% de solubilidad, debido a que todos los tratamientos, a excepción del tratamiento 5, presentan un incremento de solubilidad en cuanto

aumenta el volumen de óxido de grafeno añadido a la película, se puede decir que la cantidad de óxido de grafeno es proporcional al porcentaje de solubilidad que se obtiene.

Tabla 23-3: Resultados promediados del ensayo de solubilidad

N.º	Tratamiento	Solubilidad promedio de las biopelículas (%)
1	TBQ-1	39,727
2	TBQ-2	40,650
3	TBQ-3	42,439
4	TBQ-4	42,700
5	TBQ-5	42,512
6	TBQ-6	42,736

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Esta información puede ser corroborada por la investigación de (Muñoz, 2016. p. 6), que manifiesta que las propiedades de reactividad químicas y las interacciones a nivel molecular propias del óxido de grafeno (GO) se ven incrementadas gracias al alto nivel de solubilidad en agua que presenta el compuesto por la presencia de compuestos que contienen oxígeno, por otra parte, (Tubon, 2015, pp. 1-67) menciona en su trabajo de maestría que el óxido de grafeno adquiere la solubilidad a través de los grupos carbonilo, epóxidos, hidroxilo y carboxilo presentes en sus moléculas.

3.3.3.5. Promedio de permeabilidad del bioplástico

Los ensayos de permeabilidad realizados muestran una disminución del porcentaje de permeabilidad conforme aumenta la cantidad de óxido de grafeno presente en las biopelículas, esto se demuestra en base a los porcentajes promedios obtenidos, siendo el 0,00176% del TBQ-1 la cantidad mayor registrada y como cantidad menor está el 0,00077% perteneciente al TBQ-6.

Tabla 24-3: Resultados promediados del ensayo de permeabilidad

N.º	Tratamiento	Permeabilidad promedio de las biopelículas ($\frac{g \cdot mm}{h \cdot MPa}$)
1	TBQ-1	0,00176
2	TBQ-2	0,00174
3	TBQ-3	0,00173
4	TBQ-4	0,00091
5	TBQ-5	0,00085
6	TBQ-6	0,00082

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Debido a que en el trabajo investigativo realizado por (Issaadi et al., 2015, pp. 2-12.) demostraron que al incorporar óxido de grafeno en biopelículas existía una disminución de la permeabilidad de los gases, su estudio determinó que la reducción de la permeabilidad está vinculada al efecto de barrera que ocasiona el óxido de grafeno, esto se debe al grosor, al tamaño de las plaquetas y al apilamiento de las estructuras del óxido de grafeno, se puede decir esta información corrobora los resultados determinados de forma experimental.

3.3.3.6. Biodegradabilidad del bioplástico

Se realizó la biodegradabilidad de las láminas de bioplástico en tres diferentes factores donde se obtuvieron los siguientes resultados, al ambiente el tratamiento que más biodegradación presentó fue el tratamiento TBQ-1 con un 46,936% y el menor fue el TBQ-6 con un 20,443% lo que significa que la adición de óxido de grafeno ha influido para evitar que se degrade la biopelícula, esto se ve reflejado en la superficie de los plásticos ya que en orden ascendente las películas han presentado la propagación de mohos, siendo esto un indicador de la descomposición.

Tabla 25-3: Porcentaje de biodegradabilidad en los tres ambientes

N.º	Tratamiento	Biodegradabilidad (%)		
		Ambiente	Suelo	Agua
1	TBQ-1	46,936	77,606	7,994
2	TBQ-2	43,599	71,861	8,924
3	TBQ-3	41,255	73,283	24,155
4	TBQ-4	40,770	74,492	24,439
5	TBQ-5	34,637	76,419	67,166
6	TBQ-6	20,443	89,286	74,026

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Las biopelículas que se encontraban bajo suelo el tratamiento con un mayor grado de biodegradabilidad fue el TBQ-6 con un 89,286% y el menor de los porcentajes registrados le corresponde al TBQ-2 con un 71,861%.

Por último, en el agua el tratamiento con mayor porcentaje de biodegradabilidad fue el TBQ-6 con un 74,026% registrado frente al menor valor de 7,994% perteneciente al TBQ-1, esto se les atribuye a las propiedades de solubilidad que el óxido de grafeno le brinda a la biopelícula, facilitando su descomposición en un ambiente acuoso.

3.3.3.7. Ensayos de tracción con el bioplástico

- *Formulación de bioplástico con óxido de grafeno*

Mediante la prueba de tracción se lograron hallar los resultados que se muestran en la tabla siguiente, mismos que se encuentran promediados entre las 4 repeticiones propias de cada tratamiento.

Tabla 26-3: Ensayos de tracción del bioplástico con óxido de grafeno

Producto	N.º	Tratamiento	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura de carga (N)	Módulo de elasticidad (MPa)
Bioplástico de almidón de quinua con óxido de grafeno	1	TBQ-1	3,658	5,336	1,340	13,339	0,639	28,992
	2	TBQ-2	4,788	8,083	2,869	20,207	0,832	30,704
	3	TBQ-3	5,035	8,725	2,934	21,813	0,744	29,082
	4	TBQ-4	3,218	8,148	1,652	20,370	0,672	24,927
	5	TBQ-5	5,236	9,939	3,096	24,847	0,731	29,082
	6	TBQ-6	5,013	8,353	2,985	20,884	0,766	29,082

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

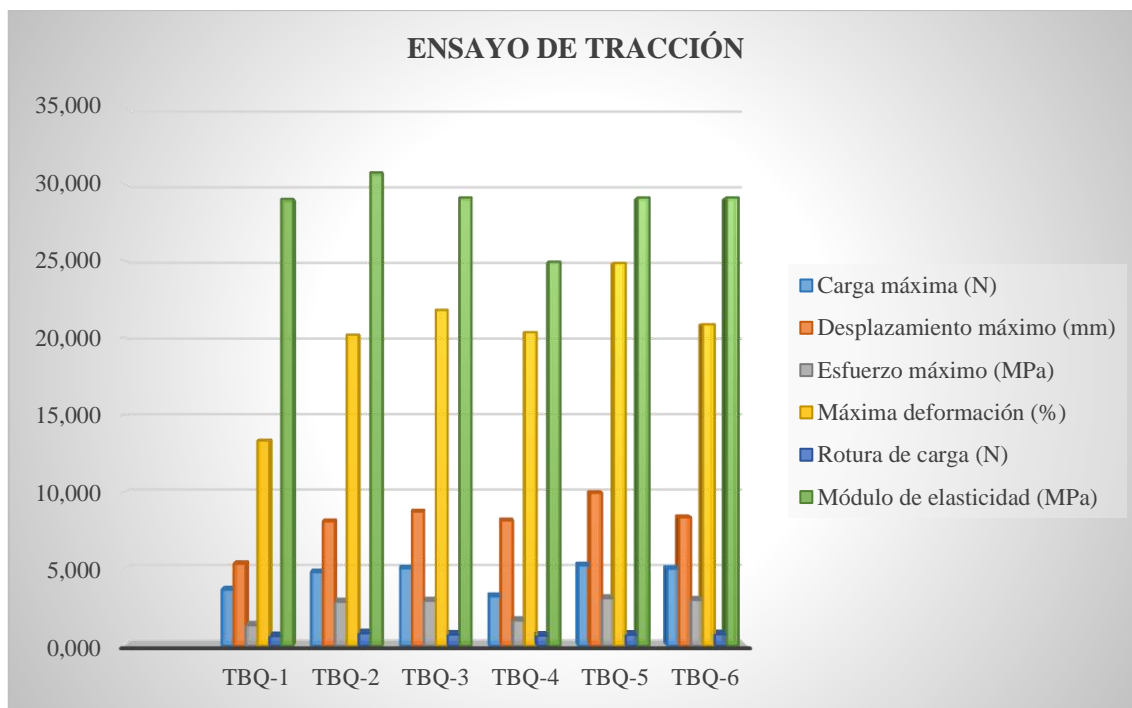


Gráfico 4-3: Ensayo de tracción del plástico con óxido de grafeno.

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

Los ensayos de tracción muestran que el tratamiento que presenta una mayor carga máxima es el TBQ-3 con un registro promedio de 5,035 N y el menor es el TBQ-4 con un registro promedio de 3,218 N, en cuanto al desplazamiento máximo realizado como promedio mayor se encuentra el TBQ-5 con una medida promedio de 9,939 mm y el tratamiento que registra un menor desplazamiento alcanzado es el TBQ-1 con 5,336 mm, en los resultados del esfuerzo máximo se tiene como líder al tratamiento TBQ-5 con un registro de 3,096 MPa y como resultado mínimo de la misma categoría se registra al tratamiento TBQ-1 con 1,340 MPa, continuando con la máxima deformación alcanzada se encuentra como mayor valor el 24,847% correspondiente al TBQ-5 y como menor valor se reconoce al 13,339% del TBQ-1, en cuanto a la propiedad de la rotura de carga se registra al tratamiento TBQ-2 con el valor de 0,832 N como dato mayor y al tratamiento TBQ-1 como menor con un valor de 0,639 N y por último en lo concerniente al módulo de elasticidad registrado se muestra al tratamiento TBQ-2 como mayor con un valor de 29,082 MPa y como dato menor al TBQ-1 con 20,903 MPa.

- *Formulación de bioplástico con ácido acético*

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos de los diferentes ensayos mecánicos realizados a la probeta de una lámina de plástico biodegradable de quinua sin la adición de óxido de grafeno, componente que es reemplazado por ácido acético.

Tabla 27-3: Ensayos de tracción del bioplástico con ácido acético

Producto	N.º	Tratamiento	Carga máxima (N)	Desplazamiento máximo (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura de carga (N)	Módulo de elasticidad (MPa)
Bioplástico de almidón de quinua con ácido acético	1	TBBQ	0,885	9,986	0,590	24,965	0,488	1,640

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los resultados han sido tabulados en el siguiente diagrama de barras para mostrar la información de manera ordenada.

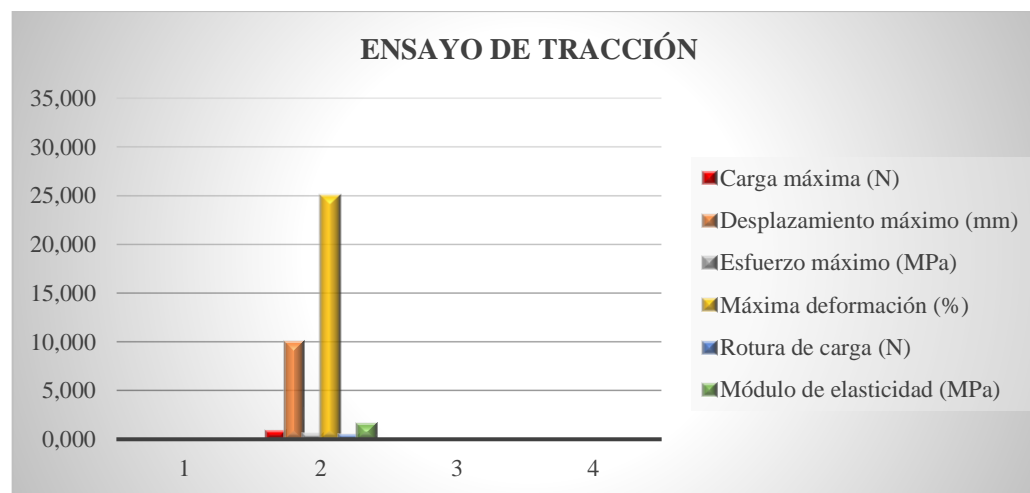


Gráfico 5-3: Resultados del ensayo de tracción del plástico con ácido acético

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Se realizó la caracterización mecánica del bioplástico tradicional, que contiene ácido acético, donde se obtuvieron valores de módulo de elasticidad igual a 1,64 MPa, esfuerzo máximo igual a 0,590 MPa y la deformación máxima alcanzada fue de 24,965%, debido a que los resultados se aproximan a los que obtuvo (Ledesma, 2021, pp. 37-50) en su investigación, que son de: 1,57 MPa para el módulo de elasticidad, un valor de 0,40 MPa para el esfuerzo máximo y 29,18% en cuanto se refiere a la deformación máxima, podemos decir que se realizó con éxito la formulación y caracterización del bioplástico base.

3.3.3.8. Análisis de varianza de un factor de los ensayos de tracción del bioplástico

Las pruebas de tracción fueron realizadas en la máquina universal para pruebas de tracción del laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para ello se emplearon probetas de cada una de las repeticiones de todos los tratamientos.

- Varianza de la carga máxima

El análisis de la varianza realizado en la herramienta de Excel nos ayudó a determinar el grado de variabilidad que presenta una variable determinada, en este caso, relacionada con las propiedades mecánicas del bioplástico.

Tabla 28-3: Análisis de la carga máxima

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	14,63	3,658	4,191
TBQ-2	4	19,1525	4,788	0,481
TBQ-3	4	20,14	5,035	0,022
TBQ-4	4	12,87	3,218	4,939
TBQ-5	4	20,945	5,236	0,148
TBQ-6	4	20,0525	5,013	0,296

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

En base a la tabla anterior, el grupo que presentó mayor varianza fue el TBQ-4 con un valor de 4,939 mientras que el TBQ-3 fue el que presentó menor varianza con un valor de 0,022.

- ANOVA para la carga máxima

Tabla 29-3: Análisis de varianza de la carga máxima

<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	14,115	5	2,823	1,681	0,190	2,773
Dentro de los grupos	30,230	18	1,679			
Total	44,345	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En análisis mostrado en la tabla anterior nos indica que la probabilidad determinada es 0,190 valor que es mayor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que cualquier valor de estos puede ser considerado para la elección de un mejor tratamiento ya que no existen diferencias estadísticamente significativas.

- Varianza del desplazamiento máximo

Tabla 30-3: Análisis del desplazamiento máximo

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	21,343	5,336	0,295
TBQ-2	4	32,331	8,083	5,064
TBQ-3	4	34,901	8,725	0,206
TBQ-4	4	32,591	8,148	5,433
TBQ-5	4	39,755	9,939	2,704
TBQ-6	4	33,414	8,353	4,401

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

De acuerdo a la tabla previa, el grupo con la mayor varianza fue el TBQ-4 con un valor de 5,433 mientras que el que presentó la menor fue el TBQ-3 con un 0,206 como valor registrado.

- *ANOVA para el desplazamiento máximo*

Tabla 31-3: Análisis de varianza del desplazamiento máximo

<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	45,919	5	9,184	3,044	0,0365	2,772
Dentro de los grupos	54,307	18	3,017			
Total	100,226	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En análisis mostrado en la tabla anterior nos indica que la probabilidad determinada es 0,0365 valor que es menor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que existen diferencias estadísticamente significativas en el promedio de la propiedad mecánica analizada, es por eso que en la tabla siguiente se muestran los resultados del análisis de Tukey.

- *Análisis Tukey para el desplazamiento máximo*

Tabla 32-3: Análisis del desplazamiento máximo

	TBQ-1	TBQ-2	TBQ-3	TBQ-4	TBQ-5	TBQ-6
TBQ-1		-2,747	-3,390	-2,812	-4,603	-3,018
TBQ-2			-0,643	-0,065	-1,856	-0,271
TBQ-3				0,577	-1,213	0,372
TBQ-4					-1,791	-0,206
TBQ-5						1,585
TBQ-6						

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los resultados del análisis han determinado que las diferencias significativas se encuentran al comparar el tratamiento TBQ-1 con el TBQ-5 razón por la cual no deben ser considerados para la elección de un mejor tratamiento.

- *Varianza del esfuerzo máximo*

Tabla 33-3: Análisis del esfuerzo máximo

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	5,361	1,340	0,287
TBQ-2	4	11,476	2,869	1,155
TBQ-3	4	11,736	2,934	0,697
TBQ-4	4	6,608	1,652	2,099
TBQ-5	4	12,382	3,096	1,037
TBQ-6	4	11,941	2,985	1,104

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

La tabla anterior nos indica que el grupo TBQ-4 obtuvo la mayor varianza con un valor de 2,099 y por otra parte la menor varianza fue de 0,287 en lo que respecta al TBQ-1.

- *ANOVA para el esfuerzo máximo*

Tabla 34-3: Análisis de varianza del esfuerzo máximo

<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	11,906	5	2,381	2,240	0,095	2,773
Dentro de los grupos	19,137	18	1,063			
Total	31,043	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En análisis mostrado en la tabla anterior nos indica que la probabilidad determinada es 0,095 valor que es mayor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que cualquier valor de estos puede ser considerado para la elección de un mejor tratamiento ya que no existen diferencias estadísticamente significativas.

- *Varianza de la máxima deformación*

Tabla 35-3: Análisis de la máxima deformación

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	53,357	13,339	1,843
TBQ-2	4	80,827	20,207	31,648
TBQ-3	4	87,253	21,813	1,288
TBQ-4	4	81,479	20,370	33,958
TBQ-5	4	99,387	24,847	16,897
TBQ-6	4	83,535	20,884	27,507

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

El valor de varianza mayor registrado en la varianza de la máxima deformación fue de 33,958, valor correspondiente al TBQ-4, por otro lado, el TBQ-3 presentó la menor varianza con un valor de 1,288.

- *ANOVA para la máxima deformación*

Tabla 36-3: Análisis de varianza de la máxima deformación

<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	286,990	5	57,398	3,044	0,037	2,773
Dentro de los grupos	339,423	18	18,857			
Total	626,413	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En análisis mostrado en la tabla anterior nos indica que la probabilidad determinada es 0,037 valor que es menor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que existen diferencias estadísticamente significativas en el promedio de la propiedad mecánica analizada, es por eso que en la tabla siguiente se muestran los resultados del análisis de Tukey.

- *Análisis Tukey para la máxima deformación*

Tabla 37-3: Análisis de la máxima deformación

	TBQ-1	TBQ-2	TBQ-3	TBQ-4	TBQ-5	TBQ-6
TBQ-1		-6,868	-8,474	-7,030	-11,507	-7,544
TBQ-2			-1,606	-0,163	-4,640	-0,677
TBQ-3				1,444	-3,033	0,930
TBQ-4					-4,477	-0,514
TBQ-5						3,963
TBQ-6						

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los resultados del análisis han determinado que las diferencias significativas se encuentran al comparar el tratamiento TBQ-1 con el TBQ-5 razón por la cual no deben ser considerados para la elección de un mejor tratamiento.

- *Varianza de la rotura de carga*

Tabla 38-3: Análisis de la rotura de carga

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	2,558	0,639	0,014
TBQ-2	4	3,328	0,832	0,058
TBQ-3	4	2,975	0,744	0,063
TBQ-4	4	2,689	0,672	0,004
TBQ-5	4	2,924	0,731	0,045
TBQ-6	4	3,165	0,791	0,177

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

El estudio de la varianza de la rotura de carga indicó que el TBQ-6 presentó la mayor varianza con un valor de 0,177 mientras que el TBQ-4 con un valor de 0,004 fue el que menor varianza tuvo.

- *ANOVA para rotura de carga*

Tabla 39-3: Análisis de varianza de la rotura de 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	0,103	5	0,021	0,342	0,881	2,773
Dentro de los grupos	1,084	18	0,060			
Total	1,187	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En análisis mostrado en la tabla anterior nos indica que la probabilidad determinada es 0,881 valor que es mayor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que cualquier valor de estos puede ser considerado para la elección de un mejor tratamiento ya que no existen diferencias estadísticamente significativas.

- *Varianza del módulo de elasticidad*

Tabla 40-3: Análisis del módulo de elasticidad

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
TBQ-1	4	115,967	28,992	251,929
TBQ-2	4	122,818	30,704	198,806
TBQ-3	4	116,328	29,082	69,042
TBQ-4	4	99,706	24,927	46,014
TBQ-5	4	116,329	29,082	69,033
TBQ-6	4	116,328	29,082	69,041

Realizado por: Vasconez, Sandoval, Aderlin, 2022.

La tabla anterior indica que el grupo del TBQ-1 presentó la mayor varianza con un valor de 251,929, mientras que al TBQ-4 se le atribuye la menor varianza registrada en el análisis del módulo de elasticidad con un valor de 46,014.

- *ANOVA para el módulo de elasticidad*

En análisis mostrado en la tabla siguiente nos indica que la probabilidad determinada es 0,984, valor que es mayor al margen de 0,05 estipulado en el análisis, lo que nos indica que cualquier valor de estos puede ser considerado para la elección de un mejor tratamiento ya que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 41-3: Análisis de varianza del módulo de elasticidad

<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	75,046	5	15,009	0,128	0,984	2,773
Dentro de los grupos	2111,593	18	117,311			
Total	2186,639	23				

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Los resultados del análisis de varianza de un solo factor establecidos en la Tabla 29-3, Tabla 34-3, Tabla 38-3, Tabla 40-3 nos indican que cualquiera de los tratamientos son aptos para ser elegidos como mejor tratamiento debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores registrados ya que el valor de probabilidad determinado es mayor al 5% de significancia establecido para el análisis.

Al analizar los resultados se determinó que la Tabla 32-3 y la Tabla 37-3 revela que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos TBQ-1 y TBQ-5, en ambos casos, razón por la cual no pueden ser considerados para la elección de mejor tratamiento, por ende, según el promedio del TBQ-3 expuesto en la Tabla 30-3 es designado como mejor tratamiento en lo que respecta a la prueba de desplazamiento máximo y según el promedio del TBQ-3 expuesto en la Tabla 35-3 es escogido como mejor tratamiento para la prueba de máxima deformación.

De acuerdo con lo analizado, la asignación de mejor tratamiento en base a la experimentación realizada se le atribuye al tratamiento TBQ-3 debido a su elección en base a los mejores promedios registrados en lo que respecta a las pruebas de desplazamiento máximo y máxima deformación. Es importante mencionar que todos los tratamientos anteriormente seleccionados se encuentran dentro de los rangos que menciona (Trujillo, 2014, pp.93-108; citado en Ledesma, 2021, pp. 37-50) respecto a que: el módulo de elasticidad debe encontrarse dentro de (0,1710 a 211,638 MPa), el esfuerzo máximo debe pertenecer al rango de (0,50 – 25,6 MPa) y el porcentaje de elongación debe estar ubicando entre (20,7 – 121%).

- *Comparación de los resultados de las pruebas mecánicas de las dos formulaciones*

A continuación, se muestra una tabla en la que consta el porcentaje de incremento de las propiedades mecánicas registradas. Al comparar los resultados de las pruebas mecánicas efectuadas en las películas biodegradables que contienen óxido de grafeno con las películas biodegradables con ácido acético podemos determinar que existen diferencias, que en algunos de los casos son significativas.

Tabla 42-3: Comparación de resultados entre las formulaciones analizadas

Producto	N.º	Tratamiento	% Carga máxima incrementado	% Desplazamiento máximo disminuido	% Esfuerzo máximo incrementado	% Máxima deformación disminuido	% Rotura de carga incrementado	% Módulo de elasticidad incrementado
Bióplástico de almidón de quinua con óxido de grafeno	1	TBQ-1	313,277	-46,567	127,154	-46,567	31,154	1667,796
	2	TBQ-2	441,031	-19,058	386,264	-19,058	70,641	1772,220
	3	TBQ-3	468,927	-12,623	397,281	-12,624	52,547	1673,294
	4	TBQ-4	263,559	-18,406	179,979	-18,406	37,883	1419,912
	5	TBQ-5	491,667	-0,472	424,682	-0,472	49,969	1673,305
	6	TBQ-6	466,455	-16,347	405,968	-16,347	57,159	1673,297

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Lo anteriormente mencionado se comprueba al verificar que existe un incremento en algunos de los parámetros mecánicos analizados, entre ellos están: la carga máxima con un incremento máximo de 491,667% en el tratamiento TBQ-5, el esfuerzo máximo con un incremento máximo de 424,682% perteneciente al tratamiento TBQ-5, la rotura de carga con un incremento máximo registrado del 70,641% en el tratamiento TBQ-2 y en el módulo de elasticidad existe un incremento máximo de 1772,22% en el tratamiento TBQ-2.

Por otro lado, se obtiene una disminución de las dos propiedades mecánicas analizadas restantes, las cuales son desplazamiento máximo, con un porcentaje de disminución máxima del 46,567%, a comparación del bioplástico blanco, perteneciente al tratamiento TBQ-1 y la deformación máxima perteneciente de igual forma al tratamiento TBQ-1 con un porcentaje de disminución máxima de 46,567%, para una mejor explicación se presenta el gráfico siguiente.

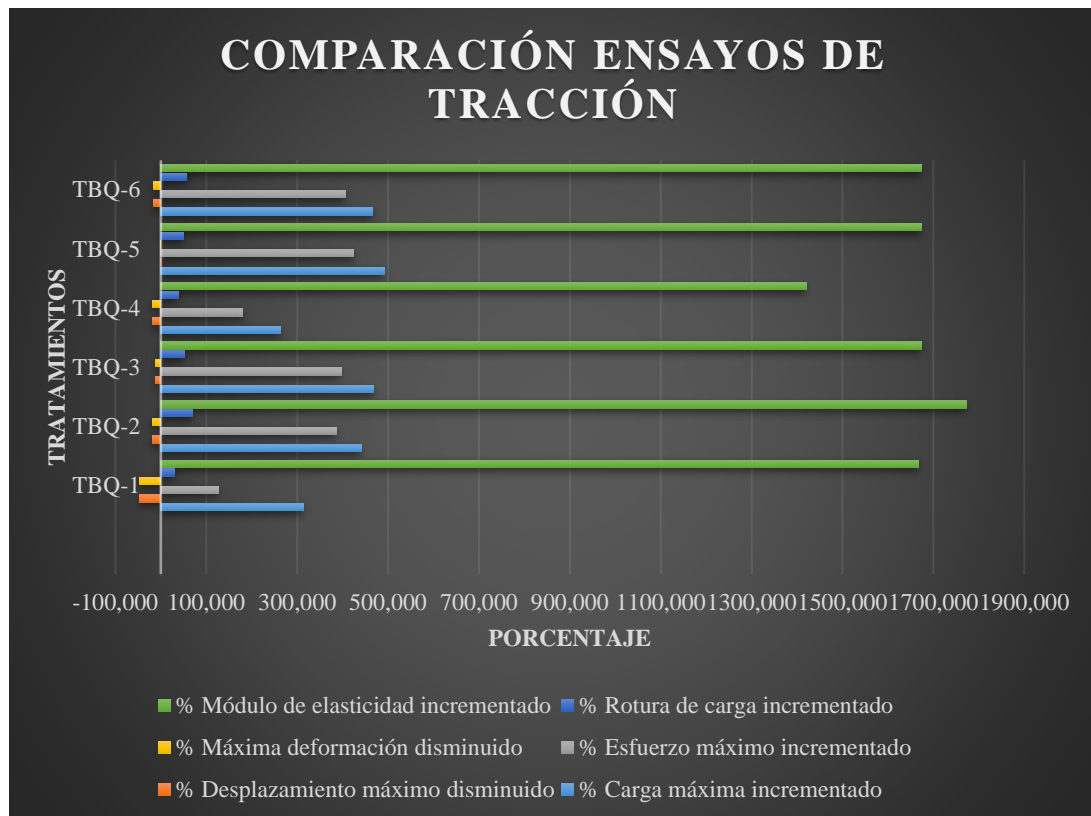


Gráfico 6-3: Comparación de los ensayos de tracción en base a las formulaciones

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

En base a lo expresado anteriormente ha existido un mejoramiento en cuanto a las propiedades mecánicas de módulo de elasticidad, rotura de carga, esfuerzo máximo y carga máxima, esto gracias a la adición del óxido de grafeno, esta afirmación guarda relación con las conclusiones a que llega en su investigación (Vasseghian et al., 2022, pp. 2-3), ya que menciona que los materiales a base de grafeno pueden ser empleados para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de biopolímeros, las partículas de las sustancias que contienen grafeno, en especial el óxido de grafeno, actúan de forma de relleno en la matriz de las biopelículas, al emplear el óxido de grafeno como relleno se tienen ciertas ventajas como la facilidad de disolución para la introducción de la matriz de los bioplásticos, presenta gran biocompatibilidad ya que responde de forma idónea con el material bioplástico y por último existe una herencia de las propiedades de flexibilidad y fortaleza por parte del grafeno a las biopelículas con las que entra en contacto.

Por otra parte, (Issaadi et al., 2015, pp. 2-12.) corrobora que la adición de óxido de grafeno en compuestos poliméricos puede mejorar de manera drástica no solamente las propiedades mecánicas sino también las propiedades eléctricas, térmicas y propiedades de barrera.

3.3.4. Valoración económica del bioplástico

Para conocer el costo de producción de las láminas de bioplástico de almidón de quinua y óxido de grafeno se realizó una valoración económica que relaciona dichos montos, en la tabla siguiente se detallan los costos de cada proceso desarrollado.

3.3.4.1. Obtención del almidón

Tabla 43-3: Insumos utilizados para obtener el almidón

N.º	Insumos empleados	Costo (\$)
1	Almidón	23,408
2	Agua purificada	12,863

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Tabla 44-3: Costos de obtención almidón

N.º	Proceso	Costo de producción (\$/g)
1	Obtención de almidón	0,038

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Para obtener 958,094 gramos de almidón se requirió de \$36,271 dólares para la adquisición de insumos, haciendo una relación se determinó que el costo de producción de 1 gramo de almidón es de \$0,038 dólares.

3.3.4.2. Obtención del óxido de grafeno

Tabla 45-3: Costos de insumos para la obtención de óxido de grafeno

N.º	Insumos	Cantidad	Costo insumo (\$)
1	Grafito	3g	15,000
2	H ₂ SO ₄	70 ml	1,056
3	HCl	5 ml	0,255
4	Agua	650 ml	0,429
5	KMnO ₄	9g	3,271
6	H ₂ O ₂	30 ml	0,479

7	Aceite	1000ml	1,000
8	Hielo	1 funda	0,74
9	Caracterización del GO	análisis	100
Total			122,230

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Tabla 45-3: Costos de obtención óxido de grafeno

N.º	Proceso	Óxido de grafeno sólido (g)	Costo de producción (\$/g)	Costo de producción (\$/L)	Costo de producción (\$/mL)
1	Obtención de óxido de grafeno (ac)	2,548	47,971	48,630	0,049

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Para sintetizar 2,548 gramos de óxido de grafeno en estado sólido se necesita de una inversión igual a \$122,230 dólares que engloban la adquisición de los insumos y reactivos necesarios, con estos datos se obtuvo el costo de producción de 1 gramo de óxido de grafeno en estado sólido y de 1 L de solución, siendo \$47,971 y \$48,630 dólares respectivamente, valores que hacen posible determinar el costo de producción de cada mililitro de óxido de grafeno.

3.3.4.3. Elaboración del bioplástico

A continuación, se indican los costos finales que se deben tomar en cuenta para la elaboración de las películas de bioplástico en un molde de formato A5 de acuerdo con cada tratamiento.

Tabla 46-3: Costos de producción del bioplástico

Producto	N.º	Tratamiento	Costo de producción (\$/lámina)
Láminas de bioplástico de quinua	1	TBQ-1	0,129
	2	TBQ-2	0,153
	3	TBQ-3	0,178
	4	TBQ-4	0,202
	5	TBQ-5	0,226
	6	TBQ-6	0,251

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

Se analizaron los parámetros económicos, mediante una valoración, en la que se determinó que la única variación entre tratamientos es el volumen de óxido de grafeno añadido, la diferencia de costos radica en el precio de este, tomando en cuenta lo mencionado, producir un bioplástico con 0,500 mL de óxido de grafeno será más barato que un bioplástico con 3 mL del mismo óxido, sin

embargo, se deben tomar en cuenta las propiedades mecánicas de cada tratamiento que se busque producir, para tener una relación costo-beneficio adecuada.

3.4. Prueba de hipótesis

3.4.1. Prueba de hipótesis general

Es posible obtener un mejoramiento en las propiedades mecánicas de las láminas de un plástico biodegradable a comparación de un bioplástico convencional teniendo en cuenta al almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*) como materia prima y al óxido de grafeno como factor del mejoramiento de dichas propiedades, además de conservante antimicrobiano; también mediante la utilización de glicerina en calidad de plastificante.

3.4.2. Prueba de hipótesis específica 1

El almidón y la materia prima con la que se trabajó presentaron características físicas y químicas que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la guía técnica de la FAO, las pruebas realizadas para su caracterización fueron: humedad, cenizas, solubilidad, pH, viscosidad, temperatura de gelatinización, contenido de amilosa y análisis microbiológicos; ensayos que permitieron conocer que la materia prima y el almidón pueden ser empleados para realizar láminas de bioplástico de manera correcta.

3.4.3. Prueba de hipótesis específica 2

Es posible comprobar el mejoramiento de las láminas de bioplástico de almidón de quinua y óxido de grafeno mediante el análisis y comparación de los resultados de los ensayos realizados en la máquina universal para pruebas de tracción con los resultados de un bioplástico convencional formulado sin el óxido de grafeno, que es el factor de mejoramiento, la Tabla 42-3 demuestra que ha existido un mejoramiento en las propiedades mencionadas, en algunos casos, el porcentaje de mejora incrementado sobrepasa el 100% lo que verifica que se han perfeccionado dichas propiedades.

3.4.4. Prueba de hipótesis específica 3

El porcentaje de degradación de las biopelículas puede ser determinado mediante el análisis de reducción del área inicial de las mismas, esto en base al tiempo que el material permanece en

contacto con los todos los factores que involucran los tres escenarios a los que son expuestos: agua, suelo y ambiente, obteniendo mayores resultado de degradación en el suelo, seguido del agua y por último al ambiente, la Tabla 25-3 y el gráfico siguiente muestran los porcentajes de degradación alcanzados al día 30 de experimentación en los 3 medios.

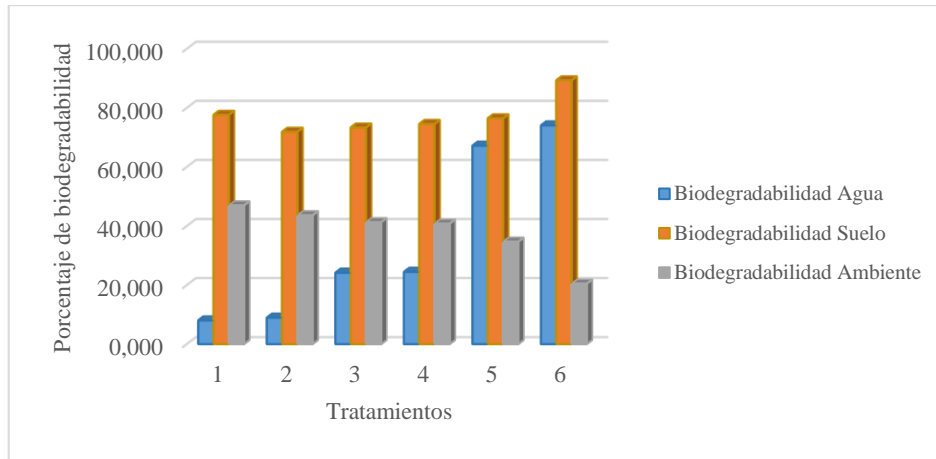


Gráfico 7-3: Porcentaje de degradabilidad alcanzado

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

3.4.5. Prueba de hipótesis específica 4

Por medio de una valoración económica es posible determinar el costo de producción para cada tratamiento de bioplástico, el análisis realizado involucra los precios de insumos y materiales utilizados para la obtención del almidón, síntesis de óxido de grafeno y la formulación de las láminas de bioplástico, los costos finales de producción se muestran en la Tabla 46-3 y en el gráfico siguiente se muestra la diferencia de costos de producción entre tratamientos.

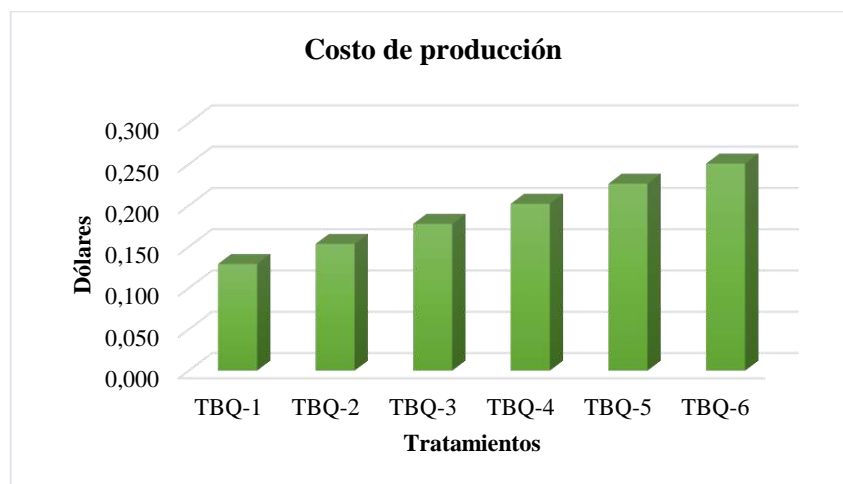


Gráfico 8-3: Costos de producción de bioplásticos por tratamientos

Realizado por: Vasconez Sandoval, Aderlin, 2022.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el óxido de grafeno tiene una incidencia positiva en el mejoramiento de algunas de las propiedades mecánicas de las láminas de plástico biodegradable de quinua (*Chenopodium quinoa*) las cuales fueron: carga máxima, esfuerzo máximo, rotura de carga y módulo de elasticidad, por otra parte, al analizar los resultados obtenidos se determinó que el óxido de grafeno provocó la disminución del valor de las propiedades de desplazamiento máximo y máxima deformación; debido al análisis de varianza empleado se determinó que el mejor tratamiento resultó ser el TBQ-3, mismo que cuenta con una adición de 1,5 mL de óxido de grafeno, en comparación con las propiedades mecánicas que posee una lámina de bioplástico convencional.
- Mediante ensayos físicos, químicos y microbiológicos se logró caracterizar la materia y el almidón considerando los requisitos estipulados en la guía técnica de la FAO, obteniendo los siguientes resultados para la materia prima: humedad 13,710%, cenizas 1,830%, solubilidad 18,590%, pH 6,120, fibra 4,010%, proteína 10,850%, viscosidad 25,070 cP, de igual forma se obtuvieron los siguientes resultados para el almidón: humedad 11,830%, cenizas 1,030%, solubilidad 9,860%, pH 6,370, viscosidad 1479,330 cP, temperatura de gelatinización 74,670 °C, contenido de amilosa 24,550 %, además se determinó que el contenido de hongos, mohos y levaduras y coliformes se encuentran dentro de la norma.
- Las propiedades mecánicas de las láminas de bioplástico de quinua con óxido de grafeno fueron analizadas y comparadas con el bioplástico convencional de la misma materia prima, con esto se pudo verificar que ha existido mejoramiento de dichas propiedades, los resultados obtenidos indican que la carga máxima ha mejorado un 468,927% , el esfuerzo máximo en un 397,258%, por otro lado, la rotura de carga y el módulo de elasticidad han mejorado en un 52,547% y 1673,294% respectivamente al hablar del tratamiento TBQ-3.
- La degradabilidad de los bioplásticos obtenida en cada uno de los ambientes de experimentación fue diferente, se identificó que las láminas que se encuentran bajo suelo se degradarán por completo en un promedio de 58,5 días siendo el que se degrada más pronto, por otra parte, las láminas de bioplástico que estuvieron sumergidas en agua, se degradarán por completo en un promedio de 109,5 días y finalmente las láminas de bioplástico que más tardaron en degradarse fueron las que estuvieron al ambiente ya que presentaron un promedio de 197 días.
- Se determinó el costo de producción para cada tratamiento de las láminas de plástico biodegradable mediante una valoración económica que incluye todos los gastos involucrados en el proceso, desde la obtención del almidón, pasando por la síntesis del óxido de grafeno hasta llegar a la elaboración del bioplástico, obteniendo así que el costo de producción de una

lámina de bioplástico en formato A5 (148 x 210 mm) para: el TBQ-1 es de \$0,129, el TBQ-2 sería \$0,153, el TBQ-3 es \$0,178, el TBQ-4 \$0,202, el TBQ-5 sería de \$0,226 y por último para el TBQ-6 sería de \$ 0,251.

RECOMENDACIONES

- El proceso de extracción del almidón de quinua conlleva la generación de grandes cantidades de desechos provenientes de la etapa de licuado, es por eso que se recomienda la reutilización de este material en el ámbito agrícola en calidad de abono orgánico debido a la composición de este.
- Debido a la dureza de las semillas se recomienda cumplir exactamente con el tiempo de remojo bajo las condiciones de agua y materia prima puesto que son necesarias para la eliminación de saponinas que tienen los granos de quinua, esto ayudará a obtener un almidón de mejor calidad.
- Incentivar a las empresas a la utilización de este tipo de bioplásticos generados de materias primas propias de nuestro país, puesto que son materiales que se asemejan a los plásticos comúnmente conocidos y a la vez ayudan en la disminución de los índices de contaminación ambiental que a día de hoy es un factor de preocupación mundial.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar un análisis de espectrometría de dispersión de energía (EDS) en el grafito adquirido y en el óxido de grafeno sintetizado con el fin de conocer la composición y pureza de los materiales con los que se está trabajando y, en el caso del óxido de grafeno, conocer si se logró realizar la oxidación con éxito.

BIBLIOGRAFÍA

ABARCA, L. Incorporación de nanopartículas de arcilla en películas comestibles de quitosano-quínoa (*Chenopodium quinoa willd*) (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad de Chile, Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacéuticas, Departamento De Ciencia De Los Alimentos Y Tecnología Química, Santiago, Chile. 2012. pp. 1-4. [Consulta: 17-11-2021] Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012/qf-abarca_lp/pdfAmont/qf-abarca_lp.pdf

ALVARADO, M; & MARTÍNEZ, A. Estudio de la factibilidad de la producción de quinua en las comunidades del cantón Colta, provincia de Chimborazo y propuesta de plan de exportación al mercado francés (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Administración, Carrera de Administración de Empresas, Guayaquil, Ecuador. 2015. pp. 16-19. [Consulta: 19-11-2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9931/1/UPS-GT000958.pdf>

AMRI, A; et al. Properties enhancement of cassava starch based bioplastics with addition of graphene oxide (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Riau, Departamento de Ingeniería Química, Pekanbaru, Indonesia. 2018. pp. 1-5. [Consulta: 18-11-2021]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/345/1/012025/pdf>

ARAUJO, P; et al. “Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2010, (Brasil) 81(4), pp. 839-840. [Consulta: 18-11-2021]. ISSN 0144-8617. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.051>

ARISTIZÁBAL, J; & SÁNCHEZ, T. “Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca”. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* [en línea], 2007, (Italia) 163 (1), pp. 61-91. [Consulta: 20-11-2021]. ISSN 1020-4334. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

ARZAPALO, D; et al. “Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) Negra Collana, Pasankalla Roja y Blanca Junín”. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2015, (Perú) 81(1), pp. 44-46. [Consulta: 19-11-2021]. ISSN 1810-634X. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a06v81n1.pdf>

ATIWESH, G; et al. “Environmental impact of bioplastic use: A review”. *Heliyon* [en línea], 2021, (Canadá) 7(9), pp. 1-3. [Consulta: 17-11-2021]. ISSN 24058440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918>

BALLESTEROS, L. Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad de San Buenaventura Cartagena, Carrera de Ingeniería Química, Provincia de Cartagena, Colombia. 2014. pp. 3-4. [Consulta: 23-11-2021]. Disponible en: http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl%C3%A1sticos_Laura%20Ballestero_USBCTG_2014.pdf

BAHL, S; et al. “Biodegradation of plastics: A state of the art review”. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020. (India) 1(1), pp. 4-6. [Consulta: 24-11-2021]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.096>

BERTOFT, E. “Understanding Starch Structure: Recent Progress”. *Agronomy* [en línea], 2017. (España) 7(3), pp. 1-2. [Consulta: 24-11-2021]. ISSN 2073-4395. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319297607_Understanding_Starch_Structure_Recent_Progress

BHATT, P. “Microplastic contaminants in the aqueous environment, fate, toxicity consequences, and remediation strategies”. *Environmental Research* [en línea], 2021. (United States of America) 200(7), pp. 1-3. [Consulta: 19-11-2021]. ISSN 10960953. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111762>

BRITO, H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I* [en línea]. Riobamba-Ecuador, 2000. [Consulta: 26-11-2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673724_Texto_Basico_de_Operaciones_Unitarias_I

BRITO, H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II* [en línea]. Riobamba-Ecuador, 2001. [Consulta: 26-11-2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315778840_Texto_Basico_Operaciones_Unitarias_II

CARBALLO, E. “Futuro en los plásticos”. *Ciencias* [en línea], 2009, (México) 1(96), pp. 64-66. [Consulta: 19-11-2021]. ISSN 0187-6376. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/644/64414998007.pdf>

CEVALLOS, D; & ALVAREZ, A. Los envases y embalajes del comercio internacional y la normativa ecuatoriana en la facilitación del comercio internacional (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas, Carrera Ingeniería en Comercio Exterior, Guayas, Ecuador. 2016. pp. 7-9. [Consulta: 28-11-2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/16846/1/TESIS%20ENVASES%20Y%20EMBALAJES.pdf>

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. 23-26. [Consulta: 02-12-2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

CHEN, X; & YAN, N. “A brief overview of renewable plastics”. *Materials Today Sustainability* [en línea], 2020. (China) 7(8), pp. 4-6. [Consulta: 29-11-2021]. ISSN 25892347. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100031>

COLLAR, C. “Quinoa”. *Encyclopedia of Food and Health* [en línea], 2015. (España) 1(1), pp. 573-574. [Consulta: 30-11-2021]. ISBN 9780123849533. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00583-3>

CORRALES, C; et al. “Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Revista EIA* [en línea], 2007. (Colombia) 1(7), pp. 58-61. [Consulta: 04-12-2021]. ISSN 1794-1237. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>

DREYER, D; et al. “The chemistry of graphene oxide”. *Chemical Society Reviews* [en línea], 2010. (United States of America) 1(39), pp. 2-4. [Consulta: 26-11-2021]. ISSN 1460-4744. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228935150_The_chemistry_of_graphene_oxide

FARÍAS, L; et al. “Grafeno, el material del futuro”. *CienciaAcierta* [en línea], 2017. (México) 2(50), pp. 3-5. [Consulta: 02-12-2021]. ISSN 2683-1848. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/cc50/grafeno.pdf>

FENG, Y; et al. “A mechanically strong, flexible and conductive film based on bacterial cellulose/graphene nanocomposite”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2012. (China) 87(1), pp.

644-646. [Consulta: 26-11-2021]. ISSN 01448617. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.039>

FLORES, P. “La problemática del consumo de plásticos durante la pandemia de la COVID-19”. *South Sustainability* [en línea], 2020. (Perú) 1(2), pp. 2-4. [Consulta: 29-11-2021]. ISSN 2708-7077. Disponible en: <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/733>

FLURY, 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. (United States of America) 30(1), pp. 1-3. [Consulta: 19-11-2021]. ISSN 24522236. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100490>

GEANKOPLIS, C. *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias* [en línea]. 3^a ed. México: Continental S.A. 1998. [Consulta: 22-11-2021]. Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

GONG, Y; & BRITAIN, H. “Solvent Systems and Their Selection in Pharmaceutics and Biopharmaceutics”. *Biotechnology: Pharmaceutical Aspects* [en línea], 2007. (United States of America) 6(1), pp. 1-2. [Consulta: 29-11-2021]. ISBN 978-0-387-69154-1. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-0-387-69154-1_1

GUAMÁN, J. Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras 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. pp. 11-16. [Consulta: 19-11-2021]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

ISSAADI, K; et al. “Maleic anhydride-grafted poly(lactic acid) as a compatibilizer in poly(lactic acid)/graphene oxide nanocomposites”. *Polymer Bulletin*, [en línea], 2015. (Alemania) 73(7), pp. 2-12. [Consulta: 21-02-2022]. ISSN 0170-0839. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-015-1593-z>

JAGIELLO, J; et al. “Synthesis and characterization of graphene oxide and reduced graphene oxide composites with inorganic nanoparticles for biomedical applications”. *Nanomaterials*, [en

línea], 2020. (Suiza) 10(9), pp. 1-2. [Consulta: 28-11-2021]. ISSN 20794991. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/9/1846/htm>

LEIA. “Biolásticos”. *Centro de desarrollo tecnológico* [en línea], 2007. (España), pp. 8-9. [Consulta: 17-11-2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS

LEDESMA, A. Biolásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 37-50.

LI, J; et al. “The Preparation of Graphene Oxide and Its Derivatives and Their Application in Bio-Tribological Systems”. *Lubricants* [en línea], 2014. (Suiza), pp. 137-139. [Consulta: 20-11-2021]. ISSN 2075-4442. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266150497_The_Preparation_of_Graphene_Oxide_and_Its_Derivatives_and_Their_Application_in_Bio-Tribological_Systems

LÓPEZ, J; et al. “Análisis de la contaminación ambiental por plásticos”. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2020. (Ecuador) 5(12), pp. 727-728. [Consulta: 23-11-2021]. ISSN 2550 - 682X 729. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2139>

LOUBES, M. Molienda seca y húmeda de arroz en molino planetario. Cinética de la molienda, efecto de las condiciones de molienda en las propiedades funcionales de la harina y del almidón y diseño de mezclas para pastas sin gluten (Trabajo de Titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Industrias, Buenos Aires, Argentina. 2015. pp. 50-53. [Consulta: 03-12-2021]. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5660_Loubes.pdf

LUNAVICTORIA, M. Síntesis y caracterización de óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido (Trabajo de Titulación). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 26-34. [Consulta: 13-02-2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/14311/1/15T00737.pdf>

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, Facultad De Ingeniería De Procesos, Arequipa, Perú. 2014. pp. 9-10. [Consulta: 30-11-2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARTINES, E; & LIRA, L. *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. [blog]. Querétaro: Centro Nacional de metrología, 2010. [Consulta: 01-12-2021]. Disponible en: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>

MATTIO, M. La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del hormigón (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Nacional de Córdoba, Facultad De Ciencias Exactas Físicas Y Naturales, Córdoba, Argentina. 2014. pp. 16-17. [Consulta: 06-12-2021]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1576/PS%20Mattio%2C%20Mar%C3%ADa%20Eugenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MATJAŠIČ, T; et al. “Critical evaluation of biodegradation studies on synthetic plastics through a systematic literature review”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2020. (Eslovenia) 752(2021), pp. 1-2. [Consulta: 28-11-2021]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141959>

MELIAN, D. Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Valdivia, Chile. 2010. pp.22-23. [Consulta: 29-11-2021]. Disponible en: <https://vsip.info/qdownload/almidon-chilepdf-pdf-free.html>

MONTERO, M. Destilación simple y fraccionada como estrategia metodológica para fortalecer el aprendizaje de la separación de los componentes de una mezcla en los estudiantes de primer año de bachillerato del colegio Hernán Gallardo Moscoso de la ciudad de Loja periodo académico 2013-2014 (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Nacional de Loja, Área De La Educación, El Arte Y La Comunicación, Carrera Químico Biológicas, Loja, Ecuador. 2016. pp. 49-50. [Consulta: 29-11-2021]. Disponible en: [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10859/1/TESIS Magdalena Elizabeth Montero Paccha.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10859/1/TESIS%20Magdalena%20Elizabeth%20Montero%20Paccha.pdf)

MORENO, J. Measurement of viscosities and densities of synthetic crudes at high pressures (Trabajo de Titulación). [En línea] Técnico Lisboa, Departamento de Ingeniería Química, Lisboa, Portugal. 2017. pp. 5-6. [Consulta: 01-12-2021]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Measurement-of-viscosities-and-densities-of-crudes-Malta/c55dda7c67b8535e84c6a4342b48c356581b575c>

MORENO, V. Validación del protocolo de control interno de calidad para la producción de semilla de quinua variedad (INIAP Tunkahuan), bajo dos tipos de fertilización, Cadet, 2015 (Trabajo de Titulación). [En línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad De Ciencias Agrícolas, Carrera De Ingeniería Agronómica, Quito, Ecuador. 2016. pp. 10-12. [Consulta: 22-11-2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7987/1/T-UCE-0004-18.pdf>

MUJICA, A; & JACOBSEN, S. “La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres”. *Botánica Económica de los Andes Centrales* [en línea], 2006. (Bolivia) 1(1), pp. 450-453. [Consulta: 20-11-2021]. ISSN 2075-5023. Disponible en: [https://beisa.au.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 27.pdf](https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf)

MUÑOZ, E. “El grafeno: química y aplicaciones”. *Boletín del Grupo Español del Carbón* [en línea]. 2016. (España) 1(41), p. 6. [Consulta: 23-02-2022]. ISSN 2172 – 6094. Disponible en: http://www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/BoletinGEC_041.pdf

OBÓN, J. *Análisis Microbiológico del Agua. Manual de prácticas de laboratorio de Microbiología* [blog], Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental, 2018. [Consulta: 28-11-2021]. Disponible en: https://www.upct.es/~minaeees/analisis_microbiologico_aguas.pdf

PARRA, J. Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*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: 04-12-2021]. Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/13808/1/96T00573.pdf>

PILLA, I. Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y plastificantes (Trabajo de Titulación). [En línea] Escuela Politécnica Nacional,

Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador. 2017. pp. 39-40. [Consulta: 02-12-2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17060>

RIERA, M; & PALMA, R. “Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador”. *Avances en Química* [en línea], 2018. (Venezuela) 13(3), pp. 71-72. [Consulta: 28-11-2021]. ISSN 1856-5301. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331688246_Obtencion_de_bioplasticos_a_partir_de_desechos_agricolas_Una_revision_de_las_potencialidades_en_Ecuador

ROSAS, O; & SILVA, E. Electroodos transparentes conductores basados en óxido de grafeno reducido para depósito electroquímico de óxidos semiconductores de interés fotovoltaico (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Nanotecnología, Altamira, México. 2016. p. 52. [Consulta: 20-11-2021]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/759/1/Ofelia%20Magdalena%20Rosas%20Hern%C3%A1ndez%20Ernesto%20Silva%20Galaviz%20Maestr%C3%ADa%20en%20Nanotecnolog%C3%ADa.pdf>

RUIZ, G. “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Ingeniería y Ciencia* [en línea], 2006. (Colombia) 2(4), pp. 7-8. [Consulta: 19-11-2021]. ISSN 1794-9165. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>

SHURVELL, H. “Spectra–Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared”. *Handbook of Vibrational Spectroscopy* [en línea], 2006. (Canadá), pp. 1791-1794. [Consulta: 19-01-2022]. ISBN 9780470027325. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/229749982_Spectra-Structure_Correlations_in_the_Mid-_and_Far-Infrared

SMITH, A; et al. “Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites”. *Nano Materials Science* [en línea], 2019. (United States of America) 1(1), pp. 32-33. [Consulta: 29-11-2021]. ISSN 25899651. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.02.004>

SUN, L. “Structure and synthesis of graphene oxide”. *Chinese Journal of Chemical Engineering* [en línea], 2019. (China) 27 (10), pp. 2-4. [Consulta: 29-11-2021]. ISSN 10049541. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/330241094_Structure_and_Synthesis_of_graphene_oxide

SUSILAWATI, L. “Characterization of Bioplastic Packaging from Tapioca Flour Modified with the Addition of Chitosan and Fish Bone Gelatin”. *World Scientific News* [en línea], 2019. (Indonesia) 135(1), pp. 86-89. [Consulta: 01-12-2021]. ISSN 2392-2192. Disponible en: <http://www.worldscientificnews.com/wp-content/uploads/2019/09/WSN-135-2019-85-98.pdf>

TOKIWA, Y. “Biodegradability of Plastics”. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 2009. (Japón) 1(10), pp. 3722-3723. [Consulta: 01-12-2022]. ISSN 1422-0067. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/10/9/3722>

TUBON, G. Physical and chemical treatments to prepare graphene materials and their related applications (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de Calabria, Departamento de Física, Cosenza, Italia. 2015. pp. 1-67. [Consulta: 04-12-2021]. 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)

UBWA, S; et al. “Studies on the Gelatinization Temperature of Some Cereal Starches”. *International Journal of Chemistry* [en línea], 2012. (Canada) 4(6), pp. 22-23. [Consulta: 27-11-2021]. ISSN 1916-9698 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233397944_Studies_on_the_Gelatinization_Temperature_of_Some_Cereal_Starches

UDAYAKUMAR, G; at al. “Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment.” *Biotechnology Advances*, [en línea], 2021. (India) 52(1), p. 4. [Consulta: 25-11-2021]. ISSN 07349750. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S073497502100121X>

VÁSQUEZ, E; & ROJAS, T. *pH: Teoría y 232 Problemas* [en línea]. México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2016. [Consulta: 05-11-2021]. Disponible en: <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>

VASSEGHIAN, Y; et al. “Graphene derivatives in bioplastic: A comprehensive review of properties and future perspectives”. *Chemosphere* [en línea], 2022. (Qatar) 286(3), pp. 2-3.

[Consulta: 03-12-2021]. ISSN 18791298. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131892>

YADAV, B; et al. “A review on recovery of proteins from industrial wastewaters with special emphasis on PHA production process: Sustainable circular bioeconomy process development”. *Bioresource Technology* [en línea], 2020. (Canada) 317(1), pp. 1-2. [Consulta: 25-11-2021]. ISSN 18732976. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124006>

YAPU, E; et al. “Óxido de grafito expandido”. *Bolivian Journal of Chemistry* [en línea], 2013. (Bolivia) 30(2), pp. 156-157. [Consulta: 25-02-2021]. ISSN 2078-3949. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v30n2/v30n2a09.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN Y MATERIA Y ANÁLISIS DE CONTENIDO DE AMILOSA

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS
 Fecha: 19 de diciembre del 2021
 Análisis solicitado por: Sr. Adelerlin Vasconez
 Tipo de muestra: Grano de quinoa (Fruto)
 Localidad: Riobamba

Análisis Físico

Descripción	Unidades	Método	Resultado
Contenido de agua	%	AOAC 920.01	10.00
Proteína	%	AOAC 979.01	14.00

Análisis Microbiológico

Contaminación	Unidades	Valor aceptable	Resultado
Coliformos Totales	UFC/g	10 ⁶	00
E. coli	UFC/g	10 ³	Ausente
Staphylo	UFC/g	Min. 10 ⁵	100
Mohos y Levaduras	UFC/g	Min. 10 ⁵	100

a)

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS
 Fecha: 19 de diciembre del 2021
 Análisis solicitado por: Sr. Adelerlin Vasconez
 Tipo de muestra: Almidón de Quinoa
 Localidad: Riobamba

Análisis Físico

Descripción	Unidades	Método	Resultado
Contenido de agua	%	AOAC 920.01	10.00
Proteína	%	AOAC 979.01	14.00

Análisis Microbiológico

Contaminación	Unidades	Valor aceptable	Resultado
Coliformos Totales	UFC/g	10 ⁶	40
E. coli	UFC/g	10 ³	Ausente
Staphylo	UFC/g	Min. 10 ⁵	100
Mohos y Levaduras	UFC/g	Min. 10 ⁵	100

b)

INFORME DE ENSAYO No. 21-0221

ANÁLISIS

MÉTODO	UNIDAD	AMILOSA	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO AFB	U. PLUMEA 97%	Monitoreo y Logística	
UNIDAD	%	100	
21-1361	9.72	24.56	Adelerlin Vasconez

RESPONSABLES DEL INFORME

Dr. MSc. Adelerlin Vasconez
 RESPONSABLE TÉCNICO

MSc. Dayan Vasconez Sandoval
 RESPONSABLE CALIDAD

c)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA	Resultados del análisis microbiológico del almidón y materia y análisis de contenido de amilosa			
a.	Análisis microbiológico de los granos de quinua.			<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
b.	Análisis microbiológico del almidón de quinua.	ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	1			1:1	2022/02/22
c.	Resultado del análisis de amilosa del almidón.						

ANEXO B: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Unidades	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm
NTE INEN 2635-2012	2000	15,000	40,000

Nombre	M. Elástico	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación
Parámetro	1, 2 N	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS
Acop. Rech.	0,0				
Unidades	N	mm	MPa	%	%
NTE INEN 2635-2012	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	0,00019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación	Energía
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2635-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	Max. Carga	Max. Despl	Max. Esfuerzo	Max. Deformación	Rotura_Carga
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	N
NTE INEN 2635-2012	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Media	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Mínimo	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Media JIS	2,58750	0,15008	80583	15,2702	57750
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

d)

Unidades	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm
NTE INEN 2635-2012	2000	15,000	40,000

Nombre	M. Elástico	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación
Parámetro	1, 2 N	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS
Acop. Rech.	0,0				
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2635-2012	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	14,2389	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación	Energía
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2635-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	Max. Carga	Max. Despl	Max. Esfuerzo	Max. Deformación	Rotura_Carga
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	N
NTE INEN 2635-2012	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Media	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Mínimo	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Media JIS	3,87750	0,77945	1,20250	14,4411	1,14750
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

e)

Unidades	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm
NTE INEN 2635-2012	2000	15,000	40,000

Nombre	M. Elástico	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación
Parámetro	1, 2 N	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS
Acop. Rech.	0,0				
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2635-2012	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	33,2306	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	PF. Carga	PF. Despl	PF. Esfuerzo	PF. Deformación	Energía
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2635-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mínimo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Media JIS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nombre	Max. Carga	Max. Despl	Max. Esfuerzo	Max. Deformación	Rotura_Carga
Acop. Rech.	N	mm	MPa	%	N
NTE INEN 2635-2012	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Media	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Desviación Estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Mínimo	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Rango	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mediana	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Media JIS	5,17500	0,09753	3,45000	22,7438	1,38870
Coef Variación	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3 Sigma	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

f)

NOTAS:

- d. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-1.
- e. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-2.
- f. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-3.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

ELABORADO POR:
VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN

Resultados del ensayo de tracción

LÁMINA

ESCALA

FECHA

2

1:1

2022/02/22

ANEXO C: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Unidades	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm
	2000	15,0000	40,0000

Nombre	M Elastico	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion
Parametro	U. B	U. N	U. mm	U. MPa	U. %
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	RF Carga	RF Despl	RF Esfuerzo	RF Deformacion	Energia
Parametro	U. B	U. mm	U. MPa	U. %	U. J
Unidades	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Parametro	U. N	U. mm	U. MPa	U. %	U. N
Unidades	N	mm	MPa <td>% <td>N</td> </td>	% <td>N</td>	N
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Mínimo	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Media JIS	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

g)

Unidades	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm
	2000	15,0000	40,0000

Nombre	M Elastico	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion
Parametro	U. B	U. N	U. mm	U. MPa	U. %
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	16.6193	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	RF Carga	RF Despl	RF Esfuerzo	RF Deformacion	Energia
Parametro	U. B	U. mm	U. MPa	U. %	U. J
Unidades	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Parametro	U. N	U. mm	U. MPa	U. %	U. N
Unidades	N	mm	MPa <td>% <td>N </td></td>	% <td>N </td>	N
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	4.24250	0.01620	1.50083	20.2485	38000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	4.24250	0.01620	1.50083	20.2485	38000
Mínimo	4.24250	0.01620	1.50083	20.2485	38000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	4.24250	0.01620	1.50083	20.2485	38000
Media JIS	4.24250	0.01620	1.50083	20.2485	38000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

h)

Unidades	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm
	5000	15,0000	40,0000

Nombre	M Elastico	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion
Parametro	U. B	U. N	U. mm	U. MPa	U. %
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	33.2386	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	33.2386	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	33.2386	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	33.2386	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	33.2386	30000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	RF Carga	RF Despl	RF Esfuerzo	RF Deformacion	Energia
Parametro	U. B	U. mm	U. MPa	U. %	U. J
Unidades	N	mm	MPa <td>% <td>J</td> </td>	% <td>J</td>	J
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mínimo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Media JIS	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Parametro	U. N	U. mm	U. MPa	U. %	U. N
Unidades	N	mm	MPa <td>% <td>N</td> </td>	% <td>N</td>	N
NTE INEN 2035:2012	mm	mm	mm	mm	mm
Media	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Máximo	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Mínimo	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Media JIS	1.26250	0.21617	41750	15.5404	52500
Coeff Variacion	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

i)

NOTAS:

- g. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-4.
- h. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-5.
- i. Resultados del ensayo de tracción del tratamiento TBQ-6.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

ELABORADO POR:
VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN

Resultados del ensayo de tracción

LÁMINA	ESCALA	FECHA
3	1:1	2022/02/22

ANEXO D: OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y RESULTADOS DE TRACCIÓN

	Espesor	Anchura	Longitud calculada
Unidades	mm	mm	mm
NTE INEN 2020-2012	1000	15000	40000

Nombre	M. Estirido	PSF. Carga	PSF. Despl	PSF. Esfuerzo	PSF. Deformación
Parametro	1.2 N	0.1 %PS	0.1 %PS	0.1 %PS	0.1 %PS
Acce. Rech.	0.0				0.0
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
NTE INEN 2020-2012	1.0143				
Media	0.8143				
Desviación Estándar	0.0000				
Maximo	1.0143				
Minimo	1.0143				
Rango	0.0000				
Mediana	1.0143				
Media 2S	1.0143				
Coef. Variación	0.0000				
3 Sigma	0.0000				

Nombre	PS. Carga	PS. Despl	PS. Esfuerzo	PS. Deformación	Energia
Acce. Rech.	N	mm	MPa	%	J
NTE INEN 2020-2012					0.0000
Media					0.0000
Desviación Estándar					0.0000
Maximo					0.0000
Minimo					0.0000
Rango					0.0000
Mediana					0.0000
Media 2S					0.0000
Coef. Variación					0.0000
3 Sigma					0.0000

Nombre	Max. Carga	Max. Despl	Max. Esfuerzo	Max. Deformación	Rotura, Carga e
Acce. Rech.	N	mm	MPa	%	N
NTE INEN 2020-2012	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Media	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Desviación Estándar	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Maximo	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Minimo	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Rango	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mediana	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Media 2S	88900	9.98953	35000	24.3648	1.4875
Coef. Variación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 Sigma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

j)

k)



l)



NOTAS:

- j. Resultados del ensayo de tracción del bioplástico blanco.
- k. Materia prima adquirida.
- l. Lavado y remojo de la materia prima.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

ELABORADO POR:
VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN

Obtención de almidón y resultados de tracción

LÁMINA

ESCALA

FECHA

4

1:1

2022/02/22

ANEXO E: PRIMERA ETAPA DE LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN



m)



n)



o)

NOTAS:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Primera etapa de la obtención de almidón		
m. Licuado de la materia prima. n. Tamizaje de la materia prima licuada. o. Reposo y decantado de la solución.	CATEGORÍA 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	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	1:1	2022/02/22

ANEXO F: SEGUNDA ETAPA DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN



p)



q)



r)

NOTAS:		CATEGORÍA 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 POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN			Segunda etapa de obtención de almidón		
p. Secado del almidón. q. Tamizaje del almidón. r. Pesaje del almidón obtenido.			LÁMINA	ESCALA	FECHA			
			6	1:1	2022/02/22			

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIA PRIMA



s)



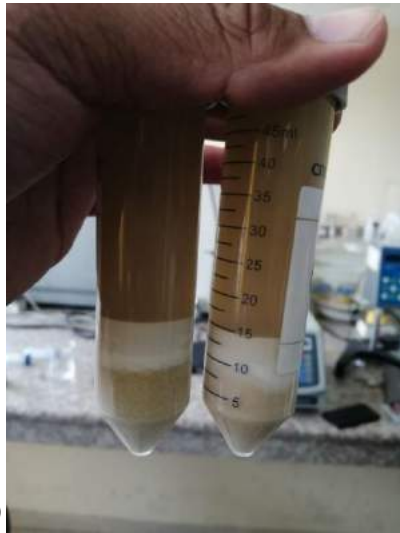
t)



u)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	Caracterización del almidón y materia prima		
s. Caracterización de la materia prima. t. Ensayo de temperatura de gelatinización del almidón. u. Ensayo de cenizas del almidón y de la materia prima.				<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	LÁMINA	ESCALA
			7	1:1	2022/02/22	

ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN Y MATERIA PRIMA



v)



w)



x)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA	Caracterización del almidón y materia prima		
v. Ensayo de solubilidad del almidón y de la materia prima.				<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	LÁMINA	ESCALA
w. Ensayo de humedad del almidón y la materia prima.			ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN		8	1:1
x. Ensayo de viscosidad del almidón y la materia prima.						

ANEXO I: SÍNTESIS DEL ÓXIDO DE GRAFENO



y)



z)



aa)

NOTAS:		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	Síntesis del óxido de grafeno		
y. Ensayo de pH del almidón y la materia prima. z. Síntesis del óxido de grafito. aa. Lavados del óxido de grafito para la obtención del óxido de grafeno.			CATEGORÍA 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	LÁMINA	ESCALA
			9	1:1	2022/02/22

ANEXO J: CONTINUACIÓN DE LA SÍNTESIS DEL ÓXIDO DE GRAFENO



bb)



cc)



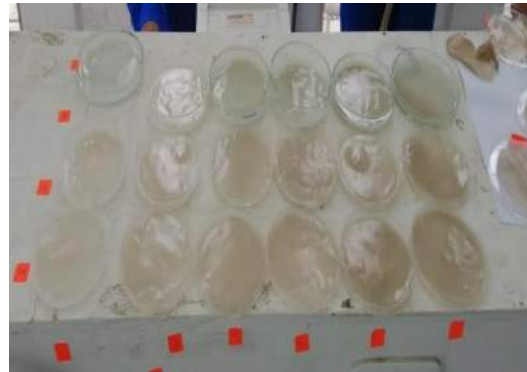
dd)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	Continuación de la síntesis del óxido de grafeno		
bb. Láminas de óxido de grafeno obtenidas. cc. Pesaje de las láminas de óxido de grafeno. dd. Disolución y sonicación de las láminas de óxido de grafeno con agua destilada.				<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
				10	1:1	2022/02/22

ANEXO K: ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



ee)



ff)



gg)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	Elaboración del bioplástico				
ee. Preparación del bioplástico. ff. Formulaciones de bioplástico realizadas en cajas petri. gg. Formulaciones de bioplástico realizadas en moldes de vidrio.	<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			<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>1:1</td> <td>2022/02/22</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	11
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
11	1:1	2022/02/22						

ANEXO L: ENSAYOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL BIOPLÁSTICO



hh)



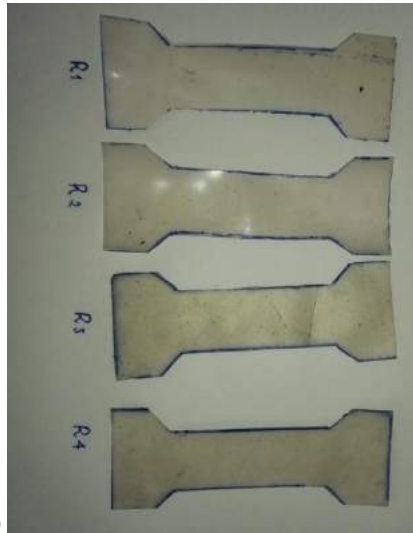
ii)



jj)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	Ensayos físicos y químicos del bioplástico		
hh. Ensayo de humedad del bioplástico. ii. Ensayo de solubilidad del bioplástico. jj. Ensayo de permeabilidad del vapor del bioplástico.				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		12	1:1	2022/02/22

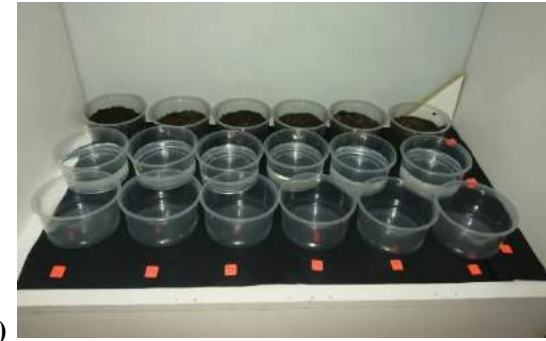
ANEXO M: ENSAYOS DE TRACCIÓN Y BIODEGRADABILIDAD



kk)



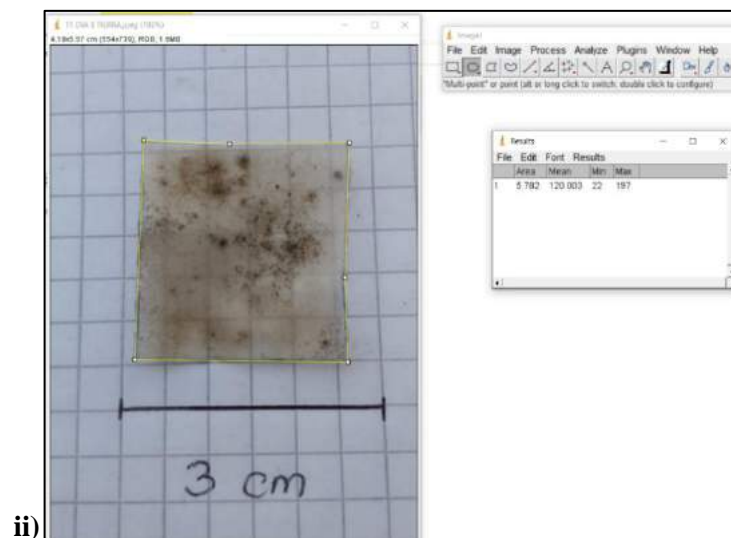
ll)



mm)

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA	Ensayos de tracción y biodegradabilidad				
kk. Probetas recortadas para el ensayo de tracción. ll. Ensayo de tracción en el equipo del laboratorio de investigación de la ESPOCH. mm. Muestras puestas en biodegradación en agua, suelo y ambiente.				<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
					ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	13	1:1	2022/02/22

ANEXO N: MEDICIÓN DE LAS ÁREAS DE LOS PLÁSTICOS



NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA	Medición de las áreas de los plásticos		
nn. Determinación de las áreas mediante el software Image J.	<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	ELABORADO POR: VASCONEZ SANDOVAL ADERLIN	LÁMINA
		14	1:1			2022/02/22



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: 20 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Aderlin Dayan Vasconez Sandoval
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



firmado electrónicamente por:
LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE



1120-DBRA-UTP-2022