



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGROINDUSTRIA

**DESARROLLO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA
EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO
(*Mangifera indica*) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A
LOS PLÁSTICOS CONVENCIONALES**
TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

AUTORA
SÁNCHEZ SANTOS RENATTA ANDREA

TUTOR
ING. PALMAY PAREDES JULIO ANDRÉS

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGROINDUSTRIA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, PALMAY JULIO ANDRES, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación DESARROLLO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica*) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LOS PLÁSTICOS CONVENCIONALES, realizado por la estudiante SANCHEZ SANTOS RENATTA ANDREA; con cédula de identidad N° 0803573278 de la carrera AGROINDUSTRIA, Unidad Académica Campus Dr. Jacobo Bucaram Ortiz - Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. PALMAY JULIO ANDRES, MSc.

Guayaquil, 27 de junio del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGROINDUSTRIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “DESARROLLO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica*) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LOS PLÁSTICOS CONVENCIONALES”, realizado por la estudiante SANCHEZ SANTOS RENATTA ANDREA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. NADIA CADENA ITURRALDE, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. DORIS GUILCAMAIGUA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. YOANSY GARCIA ORTEGA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 27 de junio del 2024

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes siempre me han apoyado, me han dado un hogar lleno de amor y han sido un constante soporte en mi vida. Sus lecciones y su paciencia me han ayudado a convertirme en la mujer que soy hoy.

Gracias por creer en mí, incluso en los momentos en los que yo misma dudaba. Les agradezco por estar presentes en cada etapa de mi vida y nunca dejarme sola, nada de esto hubiera sido posible sin ustedes, los amo.

Agradecimiento

Quiero agradecer a mi tutor a la contribución enorme que ha hecho en este proceso, y por haber sido una presencia constante y esencial en la realización de este trabajo. Gracias por ayudarme y ser esa guía necesaria para alcanzar uno de mis más grandes objetivos.

Para mis mejores amigos de la universidad, les agradezco por compartir este camino conmigo. Sus risas, sus consejos y momentos compartidos han sido un gran apoyo para mi durante este transcurso, han estado desde el día uno que llegue a esta ciudad y nunca me han dejado sola. Los voy a extrañar mucho y estoy tan agradecida por haberlos conocido y que formen parte de mi vida. Han estado ahí, apoyándome y haciendo que este proceso se sienta más fácil. Su cariño ha sido indispensable en esta aventura llamada universidad.

Agradezco a cada uno de mis profesores por el apoyo y la orientación que me han brindado. Cada uno de ellos ha marcado un camino distinto para mí, y por lo tanto estoy muy agradecida por todo lo que he aprendido de ellos.

Gracias a mis hermanos por su amor incondicional y por su ayuda en este proceso y por siempre creer en mí.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo RENATTA ANDREA SANCHEZ SANTOS, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“DESARROLLO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica*) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LOS PLÁSTICOS CONVENCIONALES** para optar el título de Ingeniera Agroindustrial, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 27 de junio del 2024

SANCHEZ SANTOS RENATTA ANDREA

C.I. 0803573278

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice de tablas	12
Índice de figura.....	13
Resumen	16
Abstract.....	17
1. Introducción.....	18
1.1 Antecedentes del problema.....	18
1.2 Planteamiento y formulación del problema	20
<i>1.2.1. Planteamiento del problema.</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2. Formulación del problema.</i>	<i>21</i>
1.3 Justificación de la investigación	21
1.4 Delimitación de la investigación	22
1.5 Objetivo general	22
1.6 Objetivos específicos	23
1.7 Hipótesis	23
2. Marco teórico.....	24
2.1 Estado del arte.....	24
2.2 Bases teóricas	26
<i>2.2.1. Mango (Mangifera indica).</i>	<i>26</i>

2.2.1.1. Descripción botánica y características del mango.	26
2.2.1.2. Composición química del mango.	27
2.2.1.3. Componentes bioactivos y antioxidantes del mango.	28
2.2.1.4. Cultivo y producción de mango en Ecuador.	28
2.2.4.4.1. Variedades de mango cultivadas y su distribución geográfica.	29
2.2.1.5. Semilla de mango.	30
2.2.1.5.1. Descripción botánica y características de la semilla de mango.	30
2.2.2. Almidón	31
2.2.2.1. Estructura del almidón.	31
2.2.2.1.1. Amilopectina.....	31
2.2.2.1.2. Amilosa.	32
2.2.2.1.3. Propiedades funcionales del almidón.	32
2.2.2.1.4. Gelatinización.....	32
2.2.1.1.6. Contenido de almidón en la semilla de mango.....	33
2.2.1.1.7. Extracción y procesamiento del almidón de semilla de mango.	33
2.2.1.1.8. Métodos de extracción de almidón de semilla de mango.....	33
2.2.3. Plásticos.	34
2.2.3.1. Tipos de plásticos	34
2.2.3.1.1. PET o PETE (tereftalato de polietileno).....	34
2.2.3.1.2. HDPE (polietileno de alta densidad).....	35
2.2.3.1.3. PVC (policloruro de vinilo).....	35
2.2.3.1.4. PP (polipropileno).....	35
2.2.3.1.5. PS (poliestireno).....	35
2.2.4. Plástico en Ecuador.	35
2.2.5. Plásticos biodegradables y bioplásticos.	36

2.2.5.1. <i>Definición y características de los plásticos biodegradables.....</i>	37
2.2.5.2. <i>Ventajas y desventajas de los plásticos biodegradables.....</i>	37
2.2.5.3. <i>Tipos de bioplásticos y sus fuentes de origen.....</i>	37
2.3 Marco legal.....	37
2.3.1. <i>Constitución de la República del Ecuador (2008).</i>	37
2.3.2. <i>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2588:2012 Disposición de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola. Requisitos.</i>	39
3. Materiales y métodos.....	40
3.1 Enfoque de la investigación.....	40
3.1.1. <i>Tipo de investigación.....</i>	40
3.1.2. <i>Diseño de investigación.</i>	40
3.2 Metodología.....	41
3.2.1. <i>Variables.</i>	41
3.2.1.1. <i>Variable independiente.....</i>	41
3.2.1.2. <i>Variable dependiente.</i>	41
3.2.2. <i>Tratamientos.....</i>	41
3.2.2.1. <i>Diseño experimental.</i>	42
3.2.4. <i>Recolección de datos.</i>	43
3.2.4.1. <i>Recursos.....</i>	43
3.2.4.1.1. <i>Indumentaria.</i>	43
3.2.4.1.2. <i>Insumos.....</i>	43
3.2.4.1.3. <i>Materiales y equipos para su elaboración.</i>	43
3.2.4.2. <i>Métodos y técnicas.</i>	44
3.2.4.2.1 <i>Técnica de extracción de almidón de semilla de mango.</i>	44

3.2.4.2.2. Método para determinación de humedad.....	44
3.2.4.2.3. Método para determinación de cenizas.....	45
3.2.4.2.4. Método para determinación de pH.	45
3.2.4.2.6. Método para determinación de viscosidad.....	46
3.2.4.2.9. Método para determinar la solubilidad en agua.	46
3.2.4.2.9. Método de biodegradación en ambiente.	47
3.2.4.2.10. Método de biodegradación en tierra.....	47
3.2.4.2.11. Método de biodegradación en agua.	47
3.2.4.3. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de la semilla de mango.....	47
3.2.4.3.1. Descripción del proceso de extracción de almidón de la semilla de mango.	48
3.2.4.4. Diagrama de flujo de la elaboración del bioplástico.....	49
3.2.4.4.1. Descripción del proceso de obtención de bioplástico.....	50
3.2.5. Análisis estadístico.....	51
4. Resultados.....	56
4.1 Obtención del almidón de semillas de mango para la elaboración de un bioplástico.	56
4.2 Determinación de las propiedades físico químicas (pH, temperatura, solubilidad, viscosidad, espesor, propiedades de tracción, permeabilidad al vapor, biodegradabilidad, dureza, humedad y solubilidad en agua) del almidón y bioplástico a partir de la semilla de mango.	58
4.2.1. Propiedades de tracción, espesor y solubilidad del bioplástico a partir de las semillas de mango.	59
4.2.4. Biodegradabilidad.....	61

4.2.4.1. Biodegradabilidad en suelo	61
4.2.4.2. Biodegradabilidad en agua	58
4.2.4.3. Biodegradabilidad en ambiente.	60
4.3 Examinar las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico.	65
5. Discusión.....	68
6. Conclusiones	70
7. Recomendaciones	72
8. Bibliografía	73
9. Anexos	79
9.1 Anexo 1. Extracción de almidón	79
9.2 Anexo 2. Elaboración del bioplástico.....	81
9.3 Anexo 3 Análisis realizados en la universidad	83
<i>9.4 Anexo 4. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2588:2012 Disposición de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola.</i>	
<i>Requisitos.....</i>	<i>87</i>
<i>9.5 Anexo 5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635:2012. Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. ...</i>	<i>91</i>
9.6 Anexo 6. Resultado de análisis de análisis mecánico lámina de plástico biodegradable.....	94
9.7 Anexo 7. Resultado de análisis de varianza.	100

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía del mango.....	27
Tabla 2. Composición química y nutrientes presentes en el mango	28
Tabla 3. Parámetros establecidos por INEN para la evaluación de láminas plásticas	39
Tabla 4. Diseño metodológico para la obtención de bioplástico	42
Tabla 5. Esquema del análisis de varianza para DCA.	51
Tabla 6. Resultados rendimiento almidón en semillas de mango	57
Tabla 7. Valores medios de los análisis físico químicos del almidón obtenido de la semilla de mango.	58
Tabla 8. Valores medios de las propiedades de tracción, espesor y solubilidad del bioplástico obtenido del almidón de semilla de mango.....	60
Tabla 9. Valores obtenidos de la biodegradación del día 0,5,10,15,20,25 del bioplástico en el suelo.	56
Tabla 10. Resultados de la biodegradación del bioplástico en el suelo.	57
Tabla 11. Resultados obtenidos de la biodegradación del bioplástico en el agua.	59
Tabla 12. Datos obtenidos de la biodegradación del bioplástico en ambiente.	62
Tabla 13. Resultados obtenidos de la biodegradación del bioplástico en el ambiente.....	64
Tabla 14. Resultados de análisis las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico.	65
Tabla 15. Comparación de biodegradabilidad en los tres ambientes.....	67

Índice de figura

Figura 1. Variedades de mango cultivadas en Ecuador	30
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso extracción de almidón de la semilla de mango.	48
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango.	50
Figura 4. Sumersión en solución de metabisulfito de sodio.	79
Figura 5. Licuado de pepas.....	79
Figura 6. Filtrado.....	80
Figura 7. Centrifugado	80
Figura 8. Secado.....	80
Figura 9. Almidón extraído.	81
Figura 10. Elaboración del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango.	81
Figura 11. Moldeado de bioplástico.	82
Figura 12. Proceso de secado del bioplástico.....	82
Figura 13. Láminas de bioplástico por tratamientos.....	83
Figura 14. Análisis de pH en el almidón a partir de la semilla de mango.	83
Figura 15. Análisis de viscosidad del almidón a partir de la semilla de mango.	84
Figura 16. Análisis de temperatura del almidón a partir de la semilla de mango.	84
Figura 17. Análisis del contenido de humedad del almidón a partir de la semilla de mango.	85
Figura 18. Análisis de contenido de cenizas del almidón a partir de la semilla de mango.	85

Figura 19. Análisis de solubilidad del bioplástico.	86
Figura 20. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 24% de almidón.....	95
Figura 21. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 24% de almidón.....	95
Figura 22. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 16% de almidón.....	97
Figura 23. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 16% de almidón.....	98
Figura 24. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 8% de almidón.....	99
Figura 25. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 8% de almidón.....	100
Figura 26. Resultado de ANOVA de espesor del almidón.	100
Figura 27. Resultado de ANOVA día 0 de biodegradabilidad en el suelo.	100
Figura 28. Resultado de ANOVA día 5 de biodegradabilidad en el suelo.	101
Figura 29. Resultado de ANOVA día 10 de biodegradabilidad en el suelo. ...	101
Figura 30. Resultado de ANOVA día 15 de biodegradabilidad en el suelo. ...	102
Figura 31. Resultado de ANOVA día 20 de biodegradabilidad en el suelo. ...	102
Figura 32. Resultado de ANOVA día 25 de biodegradabilidad en el suelo. ...	103
Figura 33. Resultado de ANOVA día 0 de biodegradabilidad en el ambiente.103	
Figura 34. Resultado de ANOVA día 5 de biodegradabilidad en el ambiente.104	
Figura 35. Resultado de ANOVA día 10 de biodegradabilidad en el ambiente.	104

Figura 36. Resultado de ANOVA día 15 de biodegradabilidad en el ambiente.	105
Figura 37. Resultado de ANOVA día 20 de biodegradabilidad en el ambiente.	105
Figura 38. Resultado de ANOVA día 25 de biodegradabilidad en el ambiente.	106
Figura 39. Resultado de ANOVA de propiedades de tracción (elongación máxima).....	106
Figura 40. Resultado de ANOVA de propiedades de tracción (Esfuerzo máximo).	107
Figura 41. Resultados de shapiro-wilks.	107

Resumen

El estudio se centró en la producción de bioplástico biodegradable utilizando almidón extraído de semillas de mango. Se utilizó un enfoque experimental para la extracción del almidón y la elaboración de películas biodegradables con el fin de promover materiales más amigables con el medio ambiente. Mediante un diseño experimental específico y pruebas mecánicas de resistencia mecánica junto con análisis fisicoquímicos, se obtuvieron datos confiables sobre las propiedades del bioplástico. Estos hallazgos contribuyeron a entender mejor las características y el potencial de aplicación de este bioplástico derivado del almidón de semillas de mango. Se puede determinar que los buenos resultados en biodegradabilidad y solubilidad indican que el bioplástico a base de almidón puede ser una opción prometedora para abordar los problemas asociados con los plásticos convencionales, ofreciendo una alternativa más sostenible y fácilmente gestionable. Sin embargo, es importante seguir investigando y evaluando el rendimiento y los impactos ambientales en diversas condiciones y aplicaciones para garantizar su viabilidad a largo plazo.

Palabras clave: Almidón, Bioplástico, Biodegradabilidad, Mango, Semillas.

Abstract

The volume of plastic waste is constantly increasing, in order to minimize these negative impacts this study aims to develop a bioplastic from starch extracted from mango (*Mangifera Indica*) seeds as a sustainable alternative.

It also seeks to take advantage of the abundance of mango seeds and their potential as a renewable source of raw material to reduce dependence on conventional plastics.

In this research, the amount of starch yield, properties of the bioplastic, biodegradation were determined, where it was possible to obtain specific data that allowed obtaining a good result at the time of degradation, since the faster a bioplastic degrades, the less impact it will have on the environment, since it will leave less waste.

It is concluded that the bioplastic obtained from the starch of mango seeds turns out to be very optimal at the time of its biodegradation, in this case the treatment that has more starch content in grams results in a higher biodegradation speed. This is because starch is the most susceptible part to degradation in a starch-based bioplastic, the more starch in the sample, the faster its degradation.

Key words: Starch, Bioplastic, Biodegradation, mango, seeds.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

La producción de productos plásticos ha experimentado un aumento considerable en los últimos años, lo cual ha generado una preocupante contaminación ambiental. Walker y Feque (2022) mencionan que la producción de plástico se ha multiplicado por 20 en los últimos 50 años y, a nivel mundial, se han producido aproximadamente 9200 millones de toneladas métricas (Mt) de plástico y más de 6900 Mt se han depositado en vertederos contribuyendo gravemente a la contaminación ambiental, mencionando también en 2019, la producción mundial de plástico alcanzó los 368 millones de toneladas métricas (Mt) y se prevé que se duplique en 20 años.

Por esta razón, a nivel mundial se ha despertado un creciente interés en la búsqueda de alternativas sostenibles a los plásticos convencionales derivados del petróleo, y es así como ha surgido el desarrollo de los bioplásticos, siendo estos materiales que se obtienen de fuentes renovables, como plantas, y tienen la capacidad de degradarse de forma natural, reduciendo así el impacto ambiental. Uno de los enfoques en la investigación de bioplásticos ha sido el uso de subproductos agrícolas, como las cáscaras de frutas, para su producción (Li, Zhou, y ElGasin, 2022)

Por su parte Merino et al (2022) mencionan que la investigación se ha centrado en la ingeniería de recursos renovables de origen vegetal ricos en polisacáridos y proteínas, para producir materiales bioplásticos verdes para el envasado de alimentos, con buenas propiedades mecánicas y de barrera a los gases, por ejemplo las cáscaras de frutas son consideradas residuos de la industria alimentaria y, en muchos casos, se desechan, lo que representa un problema tanto desde el punto de vista ambiental como económico, gracias a esto se ha

descubierto que las cáscaras de frutas contienen compuestos valiosos, como celulosa, hemicelulosas, lignina y pectina, que pueden ser extraídos y convertidos en polímeros biodegradables. Estos polímeros pueden ser utilizados para fabricar bioplásticos con propiedades mecánicas y de barrera adecuadas para aplicaciones como fundas biodegradables, envases y películas.

Calero y Lapo (2021) mencionan que, en Ecuador, el problema de los desechos plásticos es cada vez más preocupante. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente actualmente, se producen alrededor de 500,000 toneladas de plástico al año en el país, con un consumo promedio de 20 kg por persona, pero aun así esta cifra está por debajo de países europeos, donde el consumo per cápita alcanza los 140 kg anuales, así como de Estados Unidos y otros países de América Latina, donde oscila entre 40 y 109 kg per cápita anuales.

Ecuador, al ser un país con una gran variedad de frutas en todas sus regiones, se ha explorado el aprovechamiento de residuos agrícolas, en particular el almidón de semilla de mango, como una valiosa fuente para la fabricación de bioplásticos y otros subproductos de alto valor. Este tipo de investigaciones tienen como objetivo principal maximizar el uso de los residuos agrícolas y fomentar la economía circular, lo que a su vez contribuye a la reducción de desechos y al impulso de alternativas sostenibles (García y Sánchez 2021).

El mango (*Mangifera indica*) ha sido definida por Simancas et al (2021) como la fruta tropical más cultivada a nivel mundial, generando inevitablemente cantidades significativas de subproductos tales como la cáscara, la pulpa madura en exceso y las semillas que contienen compuestos valiosos, los cuales pueden ser aprovechados de diversas formas para la producción de subproductos. Este

enfoque permite reducir la cantidad de desechos generados por la industria alimentaria, al tiempo que fomenta la valorización de estos subproductos.

Gupta et al (2022) mencionan que las semillas de mango contienen compuestos valiosos, como almidón, celulosa, hemicelulosas y lignina. Estos componentes pueden extraerse y utilizarse en la producción de bioplásticos, además del almidón, las semillas de mango también pueden ser una fuente de fibra dietética utilizada en la elaboración de alimentos funcionales. Además, estas semillas pueden ser empleadas como materia prima para obtener extractos bioactivos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas o nutraceuticas.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema.

Los plásticos tradicionales a base de petróleo tienen muchas ventajas y se han utilizado ampliamente en casi todos los campos de la sociedad, pero alrededor del 79 % de los productos plásticos no se han reciclado de manera efectiva, debido al uso masivo de plásticos y características no degradables, la contaminación ambiental se ha vuelto cada vez más prominente (Maitlo, Ali, Unar, y Ahmad, 2022) Las fundas plásticas convencionales son una fuente significativa de contaminación ambiental, debido a su lento proceso de descomposición y su impacto en los ecosistemas terrestres y acuáticos. En este sentido, el uso de bioplásticos se ha considerado una alternativa satisfactoria para reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos.

Los residuos de alimentos tienen una cantidad significativa de ingredientes funcionales que tienen potencial de valorización. Las semillas de frutas se utilizan al máximo como residuos en las industrias alimentarias de todo el mundo. Estos subproductos agrícolas y de procesamiento pueden reutilizarse para fines de

reciclaje y alto valor agregado en lugar de simplemente usarse como alimento o desperdicio para reducir la contaminación ambiental y lograr un desarrollo sostenible (Simancas, Fernández, Díaz, Pérez, y Alañón, 2021). Recientemente, estos subproductos de procesamiento agrícola económicos y abundantes se han utilizado en la fabricación de películas de embalaje biodegradable. En particular la semilla de mango es un subproducto agrícola abundante y económico que puede ser utilizado para la elaboración de bioplásticos. Sin embargo, existe una falta de información sobre la formulación adecuada de bioplásticos a partir de la semilla de mango (Sani, Juma, Rhim, y Mohammadi, 2022)

1.2.2. Formulación del problema.

¿Se podrá elaborar un bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango como una alternativa que sustituya al uso de plásticos convencionales?

1.3 Justificación de la investigación

En los últimos años, ha habido un creciente interés en encontrar alternativas sostenibles a los plásticos convencionales, y esto se debe principalmente a los graves problemas ambientales asociados con su producción y desecho. Los plásticos tradicionales, derivados de recursos fósiles, presentan una persistencia significativa en el ambiente y pueden requerir un tiempo considerable para descomponerse. Esta situación ha llevado a un incremento alarmante en la contaminación plástica y ha generado la necesidad urgente de buscar soluciones más ecológicas y amigables con el ambiente (Maitlo, Ali, Unar, y Ahmad, 2022).

Hay subproductos agrícolas que a pesar de ser considerados desechos siguen teniendo vida útil. Es el caso de la semilla de mango, dentro de esta fruta podemos adquirir celulosa del endocarpio fibroso, el almidón de la semilla, este polímero natural es el más abundante en el mundo, renovable, biodegradable y es un modelo

clásico de biopolímero de refuerzo en matrices poliméricas (Gupta et al, 2022). Es por eso que la creación de bioplásticos a partir del almidón de semilla de mango puede tener un impacto positivo en múltiples aspectos del desarrollo sostenible, esto incluye la reducción de la dependencia de los recursos fósiles no renovables, la mitigación de la contaminación plástica y la promoción de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Así también podría impulsar la innovación en el sector agroindustrial, generando oportunidades económicas y de empleo en la producción y procesamiento de biopolímeros, mediante la creación de una nueva cadena de valor, donde los agricultores podrían vender las semillas de mango como materia prima para la producción de bioplásticos, generando ingresos adicionales y aprovechando un recurso que antes se consideraba desperdicio.

Es por esta razón que se planteó realizar este proyecto de investigación donde se aprovechará la semilla de mango para la extracción de almidón elaborando un bioplástico para así poder contribuir con el medio ambiente.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La presente investigación se realizó en Laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador, campus Dr. Jacobo Bucaram Ortiz Guayaquil.
- **Tiempo:** La investigación tuvo una duración de 6 meses.
- **Población:** Público en general.

1.5 Objetivo general

Desarrollar un bioplástico a partir de la extracción de almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) como alternativa sostenible a los plásticos convencionales.

1.6 Objetivos específicos

- Obtener el almidón de semillas de mango para la elaboración de un bioplástico
- Determinar las propiedades físico químicas (pH, temperatura, solubilidad, viscosidad, espesor, propiedades de tracción, biodegradabilidad, humedad y solubilidad en agua) del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango.
- Examinar la propiedad mecánica de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico.
- Comparar la biodegradabilidad de las formulaciones prototipo del bioplástico.

1.7 Hipótesis

La utilización de polímeros naturales extraídos del almidón de la semilla de mango permitirá la elaboración de un bioplástico con propiedades similares a las del plástico convencional, pero con la ventaja de ser completamente degradable.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

En un estudio realizado por Escribano (2020), obtuvo un tipo de bioplástico a partir de la cáscara de maracuyá, utilizando glicerina como aditivo plastificante al 25%. Sin embargo, se observó que la adición de glicerina afectó la resistencia a la tracción y la elongación de los bioplásticos. Por otro lado, se encontró que los bioplásticos elaborados únicamente con cáscara de maracuyá presentaban las mejores propiedades mecánicas de tracción y elongación, aunque eran más hidrófilos en comparación con los que contenían glicerina. Además, se observó un aumento en el espesor de los bioplásticos con la adición de glicerina, y se obtuvieron dos matrices diferentes: una con propiedades mecánicas más resistentes y menos flexibles, y otra con una formulación que combinaba cáscara de maracuyá y glicerina, pero con resultados de menor resistencia a la tracción y elongación.

Por otro lado, Holguín (2019) desarrolló un bioplástico a partir del almidón de papa, evaluando diferentes procesos y seleccionando el mejor a través de una matriz de selección de factores ponderados. El proceso seleccionado fue la matriz reforzada, donde se priorizó la calidad del producto final. Este proceso consta de dos etapas clave: la modificación del almidón para mejorar sus propiedades mecánicas y la obtención del bioplástico, donde se agregaron reactivos para mejorar la calidad y apariencia del producto final. La matriz reforzada logró una elongación del 4.1%, una resistencia a la tensión de 4.1 Mpa y una dureza de 71.2. Estas características sugieren su posible aplicación en la fabricación de envases, tapas, filtros de cigarrillos, entre otros.

Giraldo y Angueta (2019) utilizaron almidón de yuca y almidón de maíz para desarrollar un bioplástico. Estas materias primas se combinaron con diferentes plastificantes, como glicerina, alcohol polivinílico (PVA) y urea. Se realizaron pruebas físicas y mecánicas a las películas resultantes para determinar cuál tratamiento proporcionaba las mejores características en términos de viscosidad, propiedades de tracción, permeabilidad al vapor, biodegradabilidad y dureza. El tratamiento que consistía en almidón de yuca y PVA presentó los mejores resultados. Los parámetros utilizados en el proceso se basaron en estudios anteriores, y se estableció una temperatura de mezclado entre 65 y 70 °C, así como tiempos de acuerdo a la actividad realizada.

Finalmente, en el estudio realizado por Guamá (2018) elaboraron láminas de bioplástico a partir del almidón extraído de la cáscara de papa variedad Superchola. Se utilizaron cinco formulaciones diferentes y se realizó un análisis sensorial para determinar la formulación óptima, la cual se utilizó durante todo el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se compararon las láminas de bioplástico elaboradas con el almidón extraído y el almidón comercial en términos de propiedades físicas, como espesor, contenido de humedad, biodegradabilidad, permeabilidad y resistencia mecánica mediante ensayos de tracción. Los resultados mostraron que las láminas de bioplástico elaboradas con el almidón extraído presentaban resultados satisfactorios en los parámetros físicos evaluados, siendo similares a los del bioplástico comercial. Sin embargo, en términos de resistencia mecánica, las láminas de bioplástico con almidón extraído mostraron mejores resultados en el esfuerzo máximo en comparación con las láminas de bioplástico con almidón comercial. Estos hallazgos llevaron a sugerir diversas

aplicaciones para este bioplástico, como láminas prototipo para ventanas de empaques y sorbetes desechables ecológicos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Mango (*Mangifera indica*).

El mango (*Mangifera indica*) es una fruta tropical que es ampliamente cultivada y apreciada por su sabor dulce y jugoso (Sharif et al., 2015). Los árboles de mango son deciduos y pueden crecer hasta 30 metros de altura, con hojas verdes brillantes (Rathore et al., 2020). La fruta de mango tiene una forma ovalada o ampliada, y su piel puede variar en color desde tonos de verde a amarillo, rojo o naranja dependiendo de la variedad (Rathore et al., 2020). La pulpa de mango es succulenta y fibrosa, con un sabor distinto y agradable (Sharif et al., 2015). El mango es una fuente que es rica en vitaminas y nutrientes además de su sabor delicioso. Contiene carbohidratos, fibra, proteínas y grasas, así como vitaminas C, A, E y del complejo B (Rathore et al., 2020; Sharif et al., 2015). También es una buena fuente de minerales como calcio, hierro y potasio (Rathore et al., 2020). Además de sus cualidades nutricionales, el mango también contiene componentes bioactivos y antioxidantes como los polifenoles que han demostrado tener efectos positivos en la salud (Rathore et al., 2020; Sharif et al., 2015).

2.2.1.1. Descripción botánica y características del mango.

El mango es un árbol frutal perenne que pertenece a la familia Anacardiaceae. Se caracteriza por tener un tronco recto y ramificado, hojas largas y lanceoladas, y flores pequeñas y perfumadas. Los frutos son grandes, con piel lisa o rugosa, pulpa carnosa y hueso interno (Rathore et al., 2020).

Tabla 1. Taxonomía del mango

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Genero	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>M. indica</i>

(Medrano et al, 2015)

2.2.1.2. Composición química del mango.

El mango contiene diversos componentes químicos, como carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos. Los carbohidratos, especialmente la sacarosa, son los principales constituyentes de la pulpa del mango. Además, contiene ácidos orgánicos, como el ácido málico y cítrico, que contribuyen al sabor ácido de la fruta madura (Chandrasekhar et al., 2015).

El mango es una fuente importante de nutrientes esenciales, como vitamina C, vitamina A, vitamina E y fibra dietética. Además, contiene minerales como potasio, magnesio y calcio. Estos nutrientes y vitaminas son beneficiosos para la salud humana, ya que contribuyen al sistema inmunológico, la salud ocular, la función celular y la digestión (Lobo et al., 2010).

Tabla 2. Composición química y nutrientes presentes en el mango

Macronutrientes (g)		Minerales (mg)		Vitaminas (mg)	
Agua	83,5	Calcio	11	Vitamina C	36,4
Proteínas	0,8	Hierro	0,16	Vitamina B1	0,03
Grasas	0,4	Magnesio	10	Vitamina B2	0,04
Fibra	1,6	Fosforo	14	Niacina	0,67
Azúcares	13,7	Potasio	168	Vitamina E	0,67

Composición nutrimental promedio de pulpa de mango (x100g)
(Medrano et al, 2015)

2.2.1.3. Componentes bioactivos y antioxidantes del mango.

El mango contiene una variedad de componentes bioactivos y antioxidantes, como polifenoles, carotenoides y flavonoides. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas, entre otras. Los antioxidantes presentes en el mango pueden ayudar a neutralizar los radicales libres y proteger al organismo contra el estrés oxidativo (Pandey y Rizvi, 2019).

2.2.1.4. Cultivo y producción de mango en Ecuador.

El cultivo de mango se lleva a cabo en diferentes regiones del mundo con climas tropicales y subtropicales. Se emplean técnicas de propagación, como la siembra de semillas o la reproducción vegetativa, para obtener nuevas plantas de mango. Además, se aplican prácticas agrícolas para el manejo de plagas, enfermedades y fertilización, con el fin de obtener frutos de calidad (Kumar et al., 2017).

El mango, en el Ecuador es un fruto altamente saciable al paladar en todas las regiones del país, este fruto es muy cultivado en la Región Costa, también es cultivado en la Región Sierra, pero en menor cantidad (Apolinario, Rodríguez, y Zambrano, 2022)

La principal provincia que cultiva mango de exportación es Guayas con el 89.52% de la producción total en el país, cerca de un total de 7700 hectáreas, de las cuales aproximadamente 5600 se destinan a la exportación, la principal variedad de mango que se cultiva en esta provincia es el Tommy, seguido de las variedades Kent, Ataulfo, Haden, Keitt, Nan Doc Mai, Edward y Van Dyke. Mientras que el resto de provincias de la costa la distribución total de producción de mango es, en la Provincia de los Ríos en la zona Babahoyo y Baba el 5.77%; en la Provincia de Manabí 2.6% y en El Oro 2.01% y en Esmeraldas 0.01% (Loor et al, 2023; Guerrero, 2018).

2.2.4.4.1. Variedades de mango cultivadas y su distribución geográfica.

Existen numerosas variedades de mango cultivadas en todo el mundo, cada una con características distintivas en cuanto al tamaño, color, sabor y textura del fruto. Algunas de las variedades más conocidas incluyen Alphonso, Tommy Atkins, Kent y Keitt. La distribución geográfica de estas variedades varía según la región y las condiciones climáticas (Kumar et al., 2017).

En Ecuador, la variedad de mango con mayor volumen de producción destinado a la exportación es el Tommy Atkins, caracterizado por tener una longitud promedio de 13 cm y un peso que oscila entre 400 y 700 gramos. Su forma es ovoide, presenta una cáscara gruesa y carece de fibra. La segunda variedad más cultivada es el mango Haden, que alcanza una longitud de aproximadamente 14 cm y un peso de 400-600 gramos, con una forma también ovoide y baja presencia de fibra. Posteriormente se encuentra la variedad Kent, que mide al menos 13 cm y tiene un peso promedio de 680 gramos, con características similares en forma y ausencia de fibra. Finalmente, está la variedad Keitt, de color verde con tonos amarillos, con

un peso que varía entre 400 y 600 gramos y una forma ovalada, conocida por su jugosidad y firmeza.



Figura 1. Variedades de mango cultivadas en Ecuador (Loor, 2022)

2.2.1.5. Semilla de mango.

La semilla de mango, conocida como el hueso del mango, es un componente importante de la fruta. La semilla es de forma plana y grande, y está rodeada por una capa dura y fibrosa. En términos de composición, la semilla de mango contiene principalmente almidón, que es un polisacárido que se encuentra en muchas plantas y se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, el contenido de almidón en la semilla de mango puede variar según la variedad y el estado de madurez de la fruta. La extracción y procesamiento del almidón de semilla de mango pueden realizarse utilizando métodos físicos y químicos para obtener un producto final utilizable en diversas aplicaciones (Alam et al., 2018; Ibrahim et al., 2019)

2.2.1.5.1. Descripción botánica y características de la semilla de mango.

La semilla de mango es el núcleo interno del fruto y se caracteriza por tener forma ovalada o elíptica, con una cáscara dura y fibrosa. La semilla consta de varias

capas, incluyendo el endocarpio, que es la capa más externa y contiene una mayor proporción de almidón (Sharif et al., 2015).

2.2.2. Almidón

El almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza. El mismo ha sido ampliamente estudiado debido a su bajo costo, biodegradabilidad y disponibilidad. Se encuentra en gran variedad de tejidos de origen botánico, incluyendo frutos, semillas, hojas y tubérculos (León et al., 2020)

Estructuralmente el almidón es un políglicano (polímero de unidades de D-glucosa), compuesto por una mezcla de polisacáridos conformada por amilosa (20%) y amilopectina (80%). El almidón es un biomaterial versátil de especial interés debido a su abundancia, bajo costo, propiedades no tóxicas y biodegradabilidad para diversas industrias alimentarias y no alimentarias. Por lo tanto, se utiliza en numerosos productos lácteos y de panadería, sopas y salsas, así como en revestimientos y productos cárnicos (Apriyanto, Compart, & Fettke, 2022).

2.2.2.1. Estructura del almidón.

El almidón comprende dos polímeros de glucosa: amilopectina y amilosa. La amilopectina es una molécula altamente ramificada con (1 a 4) unidades de α -D-glucósido unidas en cadenas unidas por (1 a 6) enlaces (Magallanes, Flores, & Bello, 2017).

2.2.2.1.1. Amilopectina

La amilopectina es el componente principal y es responsable de la estructura interna de los gránulos de almidón, que es la forma nativa semicristalina del almidón, es el componente ramificado donde las unidades de glucosa también

están unidas por enlaces α -(1-4) en las secciones lineales, y por enlaces α -(1-6) en los puntos de ramificación. La amilopectina es responsable de la lámina cristalina del almidón, aunque sus puntos de ramificación forman parte de la región amorfa (Bertoft, 2015; Bello & Acevedo, 2017).

2.2.2.1.2. Amilosa.

La amilosa es un polímero de bajo peso molecular ($1,03-4,89 \times 10^5$), que consta de cadenas lineales unidas por enlaces glucósidos α -1,4. La amilosa suele ser el segundo componente más abundante del almidón y suele representar entre el 20 y el 30 % de su peso. A diferencia de la amilopectina altamente ramificada, más abundante, la amilosa generalmente se reconoce como una molécula lineal o ligeramente ramificada, las cuales están presentes en la amilosa preparada a partir de almidón nativo (Hanashiro, 2015; Cornejo et al., 2018).

La amilosa influye en el empaquetamiento de la amilopectina en cristalitas y en la organización de las láminas cristalinas dentro de los gránulos de almidón. Esto es importante para las propiedades relacionadas con la absorción de agua como la hinchazón y la gelatinización (Cornejo et al., 2018).

2.2.2.1.3. Propiedades funcionales del almidón.

Las propiedades que están presentes incluyen la correlación entre amilosa y amilopectina, lo que resulta en diferentes texturas, solubilidades superiores o inferiores entre ellas, niveles inferiores o superiores de gelatinización, un mayor grado de potencia de inclinación, retrogradación, viscosidad, consistencia, retención al corte y superior estabilidad (Chimpatasi, 2021).

2.2.2.1.4. Gelatinización.

La gelatinización es un fenómeno importante cuando se trata de las propiedades de cocción, la textura y la palatabilidad de los productos alimenticios a base de

almidón. La gelatinización del almidón interrumpe el orden molecular dentro del gránulo y da como resultado el hinchamiento granular, la fusión de los cristalitas, la pérdida de birrefringencia, el aumento de la viscosidad y la solubilización. La gelatinización del almidón comienza en un intervalo de temperaturas que depende del tipo de almidón, es decir, las proporciones de amilosa y amilopectina presentes y la disponibilidad de agua (Liu et al., 2014; Chakraborty, 2022).

La propiedad de gelatinización de los almidones es un factor crucial en la industria alimentaria. La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica muy poderosa para estudiar el efecto de las modificaciones en el comportamiento térmico, la gelatinización y la organización estructural de los gránulos de almidón (Chakraborty, 2022).

2.2.1.1.6. Contenido de almidón en la semilla de mango.

La semilla de mango contiene una cantidad significativa de almidón, que puede variar según la variedad de mango y el estado de madurez del fruto. El almidón es el principal componente de reserva de energía en la semilla y se puede extraer y procesar para su uso en diversas aplicaciones (Sarojini et al., 2020).

2.2.1.1.7. Extracción y procesamiento del almidón de semilla de mango.

El almidón de semilla de mango se extrae mediante métodos de molienda, lavado y secado de las semillas. Posteriormente, el almidón se somete a procesos de refinamiento y purificación para obtener un producto de alta calidad y pureza. El almidón de semilla de mango se utiliza en diversas industrias, como la alimentaria, la farmacéutica y la cosmética (Satheeshkumar et al., 2018).

2.2.1.1.8. Métodos de extracción de almidón de semilla de mango.

Existen diferentes métodos utilizados para la extracción de almidón de semilla de mango, como el método enzimático, el método físico-químico y el método de

extracción asistida por ultrasonidos. Estos métodos pueden variar en eficiencia, rendimiento y calidad del almidón obtenido (Nabizadeh et al., 2021).

2.2.3. Plásticos.

Los plásticos son materiales sintéticos de origen orgánico, compuestos principalmente de polímeros de alta molecularidad. Estos materiales se caracterizan por su maleabilidad y capacidad para adoptar diferentes formas mediante procesos de moldeo. Además, poseen propiedades físicas y químicas que les confieren una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores industriales (Smith, 2018).

Los plásticos son materiales sintéticos ampliamente utilizados en diversos sectores debido a su versatilidad, durabilidad y bajo costo. (Andrady y Neal, 2009). Estos materiales se fabrican a partir de polímeros que pueden ser moldeados y transformados en diferentes formas y tamaños (Kumar y Singh, 2021). Los plásticos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo envases, productos electrónicos, juguetes, muebles y construcción, entre otros (Geyer et al., 2017). Sin embargo, la creciente producción y uso de plásticos ha llevado a preocupaciones ambientales debido a su persistencia en el ambiente y los impactos negativos en la vida marina y los ecosistemas terrestres (Andrady, 2015).

2.2.3.1. Tipos de plásticos.

Existen varios tipos de plásticos utilizados en la industria, y se clasifican según su composición química y propiedades. A continuación, se describen algunos de los tipos más populares de plásticos.

2.2.3.1.1. PET o PETE (tereftalato de polietileno).

El tipo de plástico PET o PETE se utiliza ampliamente en la fabricación de contenedores de bebidas y botellas. Se distingue por su transparencia, resistencia

mecánica y resistencia a los gases y líquidos. Además, es reciclable y se utiliza en la producción de fibras textiles (Tellez-Garcia et al., 2017)

2.2.3.1.2. HDPE (polietileno de alta densidad).

El polietileno de alta densidad, o HDPE, se utiliza en la producción de botellas de detergente, recipientes de alimentos, tubérculos y bolsas. Se destaca por su resistencia a la humedad, impacto, productos químicos, así como su capacidad para reciclar (Ragaert et al., 2017).

2.2.3.1.3. PVC (policloruro de vinilo).

El PVC plástico versátil se utiliza para hacer tubos, perfiles de ventanas y puertas, renovaciones y proyectos de limpieza. posee cualidades como resistencia al fuego, frío y productos químicos, pero su reciclaje presenta retos (Liu et al., 2019).

2.2.3.1.4. PP (polipropileno).

El PP es un plástico resistente al calor y a los productos químicos, ampliamente empleado en la fabricación de envases, tapas, juguetes y muebles. Es reciclable y se caracteriza por su bajo peso y buena resistencia al impacto (Arrieta et al., 2014).

2.2.3.1.5. PS (poliestireno).

El PS es un plástico utilizado en la producción de envases de alimentos, bandejas y material de embalaje. Se caracteriza por su ligereza, transparencia y capacidad de aislamiento térmico, aunque su reciclaje presenta desafíos debido a su baja densidad (Wei et al., 2019).

2.2.4. Plástico en Ecuador.

El uso de plásticos ha aumentado significativamente en Ecuador en las últimas décadas, lo que lleva a una crisis ambiental debido a la acumulación de residuos plásticos. Estos residuos pueden tener efectos perjudiciales en los ecosistemas

acuáticos, la vida silvestre y la salud humana. En respuesta a esta situación, se han tomado medidas para reducir los residuos de plástico y gestionarlos adecuadamente, alentando el reciclaje y la adopción de alternativas más sostenibles (Secretaría de Medio Ambiente de Ecuador, 2018).

El problema del plástico se ha convertido en una gran preocupación en Ecuador, al igual que en otros países. En los últimos años, el país ha visto un aumento significativo en la producción y el consumo de plásticos, lo que ha aumentado la generación de residuos plásticos (Secretaría de Medio Ambiente de Ecuador, 2018). La gestión adecuada de los residuos de plástico se ha convertido en un desafío para la nación, y se han tomado medidas para reducir el uso de plásticos de un solo uso y promover la gestión correcta de los desechos plásticos (Secretaría de Medio Ambiente de Ecuador, 2018).

2.2.5. Plásticos biodegradables y bioplásticos.

En términos de sostenibilidad ambiental, se presentan los plásticos biodegradables como alternativas prometedoras al plástico convencional (Rujni-Sokele y Pilipovi, 2020). El término «plásticos biodegradables» se refiere a materiales que, bajo ciertas condiciones, como la presencia de microorganismos y la exposición a la luz solar y el oxígeno, pueden descomponerse en componentes más pequeños. Los beneficios significativos incluyen la reducción de la acumulación de residuos de plástico y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (Rujni-Sokele y Pilipovi, 2020). Los bioplásticos, por otro lado, provienen de fuentes renovables como las plantas y la biomasa y proporcionan una alternativa más sostenible a los plásticos convencionales. Estos materiales tienen el potencial de disminuir el impacto ambiental asociado con la producción y eliminación de plásticos (Bastioli, 2019).

2.2.5.1. Definición y características de los plásticos biodegradables.

Los plásticos biodegradables son sustancias que, en las condiciones adecuadas, pueden ser descompuestas por microorganismos naturales, volviendo al ciclo del carbono. Estos materiales se destacan por su capacidad de descomponerse en componentes más simples a través de procesos biológicos, como el agua, el dióxido de carbono y la biomasa (Bastioli, 2019).

2.2.5.2. Ventajas y desventajas de los plásticos biodegradables.

Los beneficios del uso de plásticos biodegradables incluyen la reducción del impacto ambiental al reducir la acumulación de residuos plásticos persistentes. Además, durante el curso de su producción y descomposición, pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en invierno. Sin embargo, también tienen desventajas, como el requisito de ciertas condiciones de descomposición y la posible liberación de subproductos tóxicos durante su biodegradación (Rujnić-Sokele y Pilipović, 2020).

2.2.5.3. Tipos de bioplásticos y sus fuentes de origen.

Existen diferentes tipos de bioplásticos, los cuales se obtienen a partir de fuentes renovables, como plantas, algas y microorganismos. Entre los bioplásticos más comunes se encuentran los polihidroxialcanoatos (PHA), polilactato (PLA), almidón termoplástico (TPS) y polímeros derivados de ácido láctico (Chandra et al., 2019).

2.3 Marco legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2008).

En la Constitución de la República del Ecuador, según el Plan del buen vivir (2017), se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay, por lo que en el siguiente artículo indica:

Art. 14.- Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.14).

Este artículo promueve un mensaje de que debemos cuidar el medio ambiente de nuestro país y ayudarlo para evitar daños ambientales, por lo que en el presente trabajo se pretende generar una nueva alternativa ecológica.

Según el Plan del buen vivir (2017), el objetivo 7 es garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, para esto según su artículo dice:

Art. 73.- La Constitución de la República del Ecuador, obliga al Estado a aplicar “medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de ciclos naturales” (p.37).

Art. 313.- La Constitución de la República del Ecuador, determina “el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia” (p.133). Los sectores estratégicos, por lo tanto, son áreas de decisión y control exclusivo del Estado, siendo la biodiversidad uno de ellos.

Con este artículo se refuerza la afianza en contribuir con el medio ambiente, evitando el uso de plásticos cambiándolos por productos biodegradables.

2.3.2. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2588:2012 Disposición de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola. Requisitos.

Esta normativa deja claro los requisitos que deben cumplir la disposición de los productos plásticos en desuso provenientes de la industria agrícola, aplica a los tipos de fundas, mangas, láminas y películas plásticas en desuso que son utilizadas en el sector agrícola, esta norma exceptúa los envases correspondientes a plaguicidas. Se indica que los plásticos en desuso deben ser entregados únicamente a personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que cuenten con una regularización ambiental de acuerdo a su actividad, se deben mantener procedimientos de identificación, manejo, almacenamiento, protección y la recuperación (INEN, 2012).

2.3.3. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635:2012. Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas.

Tabla 3. Parámetros establecidos por INEN para la evaluación de láminas plásticas

PARÁMETROS	UNIDADES	ESTÁNDAR	MÉTODOLOGIA
Humedad	%	09-15%	NTE INEN 2635:2012
Ceniza	%	0,12-0,82%	NTE INEN 2635:2012
Solubilidad en agua	%	11,50-12,32%	NTE INEN 2635:2012
pH		5.5-6.0	NTE INEN 2635:2012
Viscosidad		840-1500cP	NTE INEN 2635:2012

Se toma de referencia esta norma debido a que no existe una normativa establecida para bioplásticos en el país
INEN, 2012

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

En la investigación se siguió dos tipos:

- Investigación documental: Se utilizaron fuentes bibliográficas como revistas científicas, artículos, libros, enciclopedias, etc. Que sustenten teóricamente la investigación.
- Investigación experimental: Se trató con las diferentes variables a investigar y establecer cuál de las formulaciones prototipo es la más conveniente en la elaboración de bioplástico a partir de la semilla de mango.

3.1.2. Diseño de investigación.

La presente investigación se llevó a cabo bajo un enfoque experimental, con el objetivo de desarrollar un bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del bioplástico, así como su biodegradabilidad, mediante la implementación de tres formulaciones distintas. Los porcentajes adecuados para cada tratamiento fueron determinados mediante la manipulación de la variable independiente, que consistió en el porcentaje de almidón extraído de la semilla de mango, mientras que las variables dependientes incluyeron el porcentaje de humedad y cenizas, propiedades fisicoquímicas, propiedad mecánica de tensión y biodegradabilidad.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un diseño completamente azar. Se comprobó los supuestos de la varianza (normalidad y homoscedasticidad), si se cumplen se realizó el análisis ANOVA, caso contrario se efectuó el análisis no paramétrico de Kruskal Wallis. Esto se realizó con el fin de identificar posibles diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo de control. Este

diseño experimental permitió evaluar la viabilidad de utilizar polímeros naturales extraídos del almidón de la semilla de mango en la producción de un bioplástico degradable que presente características similares a las del plástico convencional.

3.2 Metodología

3.2.1. Variables.

3.2.1.1. Variable independiente.

- Desarrollo de bioplásticos a partir de distintas combinaciones de almidón de semilla de mango.

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Porcentaje de Humedad
- Análisis físico y químico, pH, temperatura, viscosidad, solubilidad, dureza.
- Espesor
- Propiedades de tracción
- Permeabilidad al vapor
- Biodegradabilidad
- Solubilidad en agua.

3.2.2. Tratamientos.

Se elaboraron cuatro tratamientos de bioplástico a partir de la semilla de mango, incluido el tratamiento testigo con tres repeticiones, los tratamientos ejecutados estuvieron conformados por tres variables: el porcentaje de almidón de las semillas de mango, porcentaje de glicerina y celulosa.

Tabla 4. Diseño metodológico para la obtención de bioplástico

	Testigo		T1		T2		T3	
	(g)	%	(g)	%	(g)	%	(g)	%
Almidón	30,0	24,0	40,0	24,0	50,0	16,0	60,0	8,0
Glicerina	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0	8,0
Celulosa	0	0,0	10,0	8,0	10,0	16,0	10,0	24,0
Agua	60,0	68,0	40,0	60,0	30,0	60,0	20,0	60,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tratamientos de la obtención de bioplástico a partir del almidón extraído de la semilla de mango.
Sánchez, 2024

3.3.3 Diseño experimental.

En la presente investigación se llevó a cabo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones y un testigo. El DCA permitió una asignación aleatoria de los tratamientos a las unidades experimentales, garantizando así la equidad en la asignación de estos. Se seleccionó el mejor tratamiento mediante el análisis de Tukey al 5% y además se realizó el análisis ANOVA.

El diseño experimental propuesto combinado con las pruebas de resistencia mecánica y los análisis fisicoquímicos, permitió obtener resultados robustos y confiables sobre las propiedades del bioplástico. Estos resultados contribuyeron a la comprensión de las características y el potencial de aplicación del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango, así como a la identificación de las proporciones óptimas de materia prima para su producción.

3.2.4. Recolección de datos.

3.2.4.1. Recursos.

3.2.4.1.1. Indumentaria.

- Mandil
- Mascarilla de protección respiratoria
- Cofia

3.2.4.1.2. Insumos.

- Semilla de mango
- Celulosa
- Glicerina
- Ac. Acético 0,1 M
- Hidróxido de sodio 0,1 M
- Agua destilada
- Metabisulfito al 5%

3.2.4.1.3. Materiales y equipos para su elaboración.

- Recipientes
- Horno eléctrico
- Balanza digital
- Licuadora
- Mortero
- Estufa
- Molino
- Trituradora
- Cajas Petri

3.2.4.2. Métodos y técnicas.

3.2.4.2.1 Técnica de extracción de almidón de semilla de mango.

La extracción de almidón de semilla de mango se realizó utilizando Metabisulfito al 5%. Las semillas recolectadas se limpiaron para eliminar suciedad e impurezas, descartando la cáscara exterior y la pulpa adherida. Las semillas limpias y secas se licuaron para aumentar su superficie y facilitar la liberación del almidón. La masa resultante se mezcló con una solución de Metabisulfito de sodio, asegurando una distribución uniforme. La mezcla se filtró para separar el líquido no deseado, y el almidón retenido se lavó con agua para eliminar residuos. Finalmente, el almidón lavado se secó mediante métodos naturales o equipos de secado controlado.

3.2.4.2.2. Método para determinación de humedad.

Para determinar la humedad se empleó el método AOAC 925.10, las muestras para este análisis estuvieron en óptimas condiciones. Se determinó por el método de estufa a 150°C hasta que se adquirió el peso constante, se tomó una muestra representativa del almidón extraído de las semillas de mango y se pesó con precisión, posteriormente se colocó en una cápsula de porcelana previamente pesada y se introdujo en un horno de secado precalentado a una temperatura específica, generalmente entre 105-110 °C. La muestra se dejó secar durante un período de tiempo determinado, generalmente entre 2-4 horas. Después de cumplir con el tiempo de secado, se retiró la cápsula del horno y se colocó en una desecadora para que se enfríe a temperatura ambiente. Una vez enfriada, se pesó nuevamente la cápsula con la muestra seca (Tirado, Montero, y Acevedo, 2015).

Se procedió a calcular el contenido de humedad, utilizando las siguientes formulas.

$$\%H = \frac{M1 - M2}{M} X 100$$

Donde:

M: masa en gramos de la capsula con tapa.

M1: masa en gramos de la cápsula con tapa y la muestra seca.

3.2.4.2.3. Método para determinación de cenizas.

Para la determinación de cenizas se utilizó el método de calcinación por medio de muestra representativa del almidón extraído de las semillas de mango. Se manejó una cantidad adecuada de almidón seco y pulverizado para el análisis, se pesó un crisol de porcelana previamente limpio y seco. Luego se colocó la muestra de almidón en el crisol y se volvió a pesar el crisol con la muestra. Registramos la masa total de la muestra. Se colocó el crisol con la muestra en un horno precalentado a una temperatura elevada, generalmente alrededor de 550-600 °C. Se mantuvo el crisol en el horno durante un período de tiempo suficiente para permitir la combustión completa de la muestra. El tiempo de calcinación pudo variar, pero generalmente se recomendó un período de 4 a 6 horas; posteriormente se retiró el crisol del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente en una desecadora. Una vez que el crisol estuvo completamente frío, se pesó nuevamente. Se registró la masa del crisol con las cenizas resultantes. Es importante tener en cuenta que este método determino el contenido de cenizas totales, que incluye minerales inorgánicos y otros compuestos no volátiles presentes en la muestra (Pillco, Cuéllar, & Guzmán, 2021).

3.2.4.2.4. Método para determinación de pH.

Para la determinación de pH en la muestra de almidón obtenida a partir de la semilla de mango se tomó una muestra de 10g de la masa de semillas de mango después de la molienda. Luego se adicionó una cantidad de agua destilada al recipiente que contenía la muestra de semillas de mango, se mezcló la solución

para aseverar una dispersión uniforme de los componentes. Se utilizó un medidor de pH calibrado y se sumergió su electrodo en la solución de semillas de mango y agua. Se esperó unos segundos para que la lectura se estabilice y registre el valor de pH en el dispositivo. Es importante tener en cuenta que el pH puede variar dependiendo de la etapa del proceso de extracción de almidón (Pillco, Cuéllar, & Guzmán, 2021).

3.2.4.2.6. Método para determinación de viscosidad

Se usó un viscosímetro rotacional modelo STS-2011, bajo la norma ASTM D2196 “Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer”. Se tomó una muestra de 250 mL en un vaso de precipitación que se introduce en un baño de agua a una temperatura de 45 °C. Se esperó hasta que la muestra llegó a la temperatura de ensayo y fue constante. Seguidamente, se ajustó la velocidad de agitación, se desbloqueó la aguja del viscosímetro y se la introdujo dentro de la muestra. Se esperó hasta que la aguja se estabilizó y se tomaron los datos necesarios de viscosidad y porcentaje de torque (Piedra et al, 2020).

3.2.4.2.9. Método para determinar la solubilidad en agua.

Se colocaron los bioplásticos secos en 80mL de agua desionizada con agitación constante dentro de un Shaker con una programación de 100rpm durante 60min, pasado este tiempo se filtraron y fueron colocados en la estufa a una temperatura de 40°C hasta que las muestras estuvieron completamente secas, luego se incrementó la temperatura a 105 °C donde se consiguió un peso constante (Morocho et al, 2020).

Finalmente se utilizó la siguiente ecuación para determinar la solubilidad en agua

$$\% \text{ de solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial de lámina seca} - \text{Peso final de lámina seca}}{\text{Peso inicial de lámina seca}} \times 100$$

3.2.4.2.9. Método de biodegradación en ambiente.

Se prepararon muestras de bioplástico con dimensiones de 3 cm x 3 cm, que fueron expuestas a condiciones naturales de temperatura, humedad y luz solar durante 25 días. Durante este periodo, se realizaron observaciones periódicas para evaluar cambios en la apariencia física de las muestras, como decoloración, fragmentación y pérdida de integridad estructural.

3.2.4.2.10. Método de biodegradación en tierra.

El método de biodegradación en tierra se llevó a cabo exponiendo muestras de bioplástico de 3 cm x 3 cm a condiciones ambientales durante 25 días. Las muestras se enterraron en suelo y se monitorearon periódicamente para observar los cambios en su estructura y peso, evaluando así su capacidad de descomposición en un entorno natural.

3.2.4.2.11. Método de biodegradación en agua.

Se prepararon muestras de bioplástico con dimensiones de 3 cm x 3 cm, las cuales fueron sumergidas en agua durante un período de 25 días bajo condiciones controladas. Durante este tiempo, se realizaron observaciones periódicas para registrar cualquier cambio en la apariencia física de las muestras, como la pérdida de masa y la presencia de fragmentación.

3.2.4.3. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de la semilla de mango.

En la figura 2 se observa el diagrama de flujo que describe los procesos de la extracción de almidón de la semilla de mango.

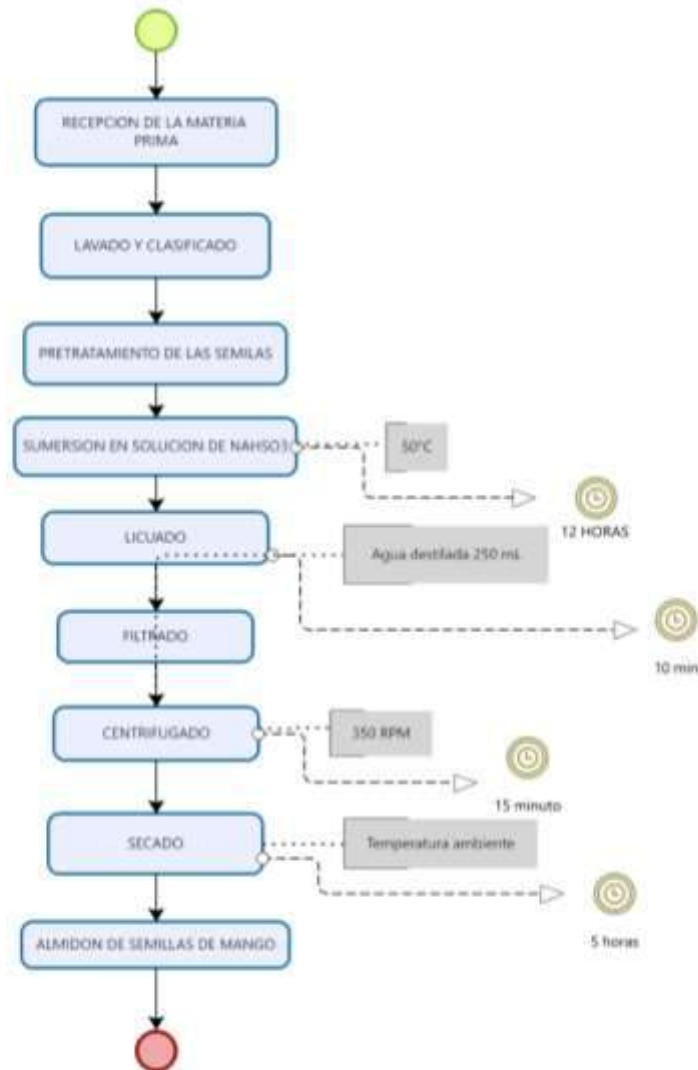


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso extracción de almidón de la semilla de mango.
Sanchez, 2024.

3.2.4.3.1. Descripción del proceso de extracción de almidón de la semilla de mango.

Recepción de la materia prima: Se recibió la materia prima, en este caso directamente las semillas de mango totalmente despulpadas.

Lavado y clasificado: Se procedió a lavar las semillas para eliminar cualquier tipo de material extraño, así mismo se clasificó para seleccionar las que se encontraban en mejor estado

Pretratamiento de las semillas: Las semillas de mango se sometieron a un pretratamiento para prepararlas antes de la extracción del almidón.

Sumersión en solución de NaHSO₃: Las semillas pre tratadas se sumergieron en una solución de NaHSO₃ al 0,16% y se mantuvieron a una temperatura de 50°C durante 12 horas donde se permitió la liberación y disolución del almidón de las semillas.

Licuadao: Las semillas se retiraron de la solución y se licuaron con 300 mL de agua destilada. Esto ayudó a descomponer aún más las células y se liberó el almidón contenido en las semillas.

Filtrado: La suspensión obtenida después de licuar se filtró utilizando una tela fina para separar los sólidos no deseados, como las fibras y los residuos de las semillas, del almidón en suspensión.

Centrifugado: La suspensión de almidón adquirida se sometió a centrifugación para separar los sólidos más pesados del almidón en suspensión. La centrifugación se realizó a una velocidad de 3500 RPM durante 20 minutos.

Secado: Después de la centrifugación, el almidón se colocó en una bandeja plana para secarlo. Se dejó secar a temperatura ambiente durante aproximadamente 5 horas, lo que permitió la evaporación del agua y la obtención de un almidón en forma de polvo seco.

3.2.4.4. Diagrama de flujo de la elaboración del bioplástico.

En la figura 3 se observa el diagrama de flujo que describe los procesos de la elaboración del bioplástico a partir de la semilla de mango.

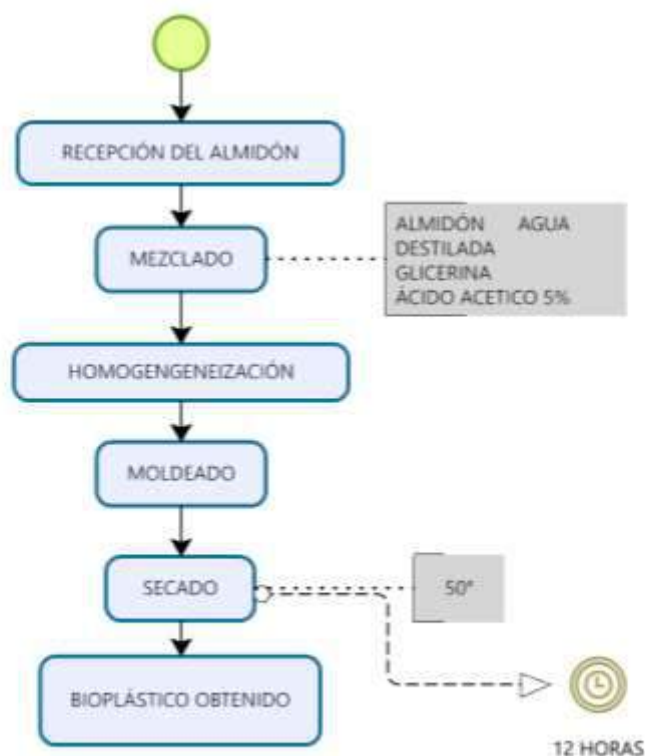


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango. Sanchez, 2024.

3.2.4.4.1. Descripción del proceso de obtención de bioplástico.

Recepción del almidón: Se recibió el almidón obtenido del proceso anterior.

Mezclado: El almidón de semilla de mango se mezcló con 75 ml de agua destilada, 11 ml de glicerina y 6 ml de ácido acético al 5%

Homogeneización: Se agitó a 500 RPM durante 15 minutos donde se alcanzó una completa homogeneización y gelatinización del almidón.

Moldeado: Se vertió la mezcla en moldes previamente engrasados con silicona antiadherente. Estos moldes ayudaron a dar forma al bioplástico a medida que se enfriaba y solidificaba.

Secado: Se dejó secar la mezcla obtenida a una temperatura de 50°C por un tiempo de 12 horas donde se obtuvo el bioplástico final.

3.2.5. Análisis estadístico.

En el desarrollo del bioplástico a partir de las semillas de mango, los datos obtenidos se recopilaron en una matriz para posteriormente ser procesados en el programa Statgraphics Centurión donde se verificaron los supuestos de varianza y se aplicó la prueba de ANOVA, o en su defecto, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis si no se cumplían los supuestos. La comparación de medias se llevó a cabo mediante el método de Tukey. Para todos los análisis se utilizó un nivel de significancia del 5%.

El siguiente esquema en la tabla 3 constituye el análisis de varianza describiendo la relación de fuente de variación con fórmula, desarrollo y grados de libertad.

Tabla 5. Esquema del análisis de varianza para DCA.

Fuente de variación	Fórmula	Desarrollo	Grados de libertad (n-1)
Tratamientos	T-1	(4-1)	3
Error	N-T	(12-4)	8
Total	N-1	(12-1)	11

Esquema de análisis de varianza.
Sánchez, 2023

Prueba de Hipótesis

H₀: Con el uso de almidón de la semilla del mango no se obtiene un bioplástico de calidad

H₁: Con el uso de almidón de la semilla del mango se obtiene un bioplástico de calidad.

4. Resultados

4.1 Obtención del almidón de semillas de mango para la elaboración de un bioplástico.

Se llevó a cabo la extracción de almidón de las semillas de mango con metabisulfito al 5%. Inicialmente, las semillas fueron recolectadas y sometidas a un proceso de limpieza con la finalidad de descartar cualquier contaminante externo. Posteriormente, se colocó dichas semillas en inmersión con una solución de Metabisulfito al 5% durante un período de 12 horas (ver figura 4), con el propósito de inactivar enzimas presentes en las semillas, como la peroxidasa. La presencia de esta enzima puede apresurar la oxidación del almidón, afectando negativamente su calidad. Además, esta fase facilitó la liberación del almidón de las semillas con el objetivo de mejorar el rendimiento del proceso.

Las semillas, posteriormente, fueron trituradas con agua destilada, la masa resultante fue filtrada con la finalidad de separar los componentes sólidos de los líquidos como fibras y restos de las semillas del almidón en suspensión (ver figura 5, 6).

La suspensión de almidón alcanzada se sometió a un proceso de centrifugación para separar los sólidos más pesados del almidón. La centrifugación se llevó a cabo a 3500 RPM durante un lapso de 20 minutos (ver figura 7). Después, el almidón fue colocado en un molde de superficie plana para su posterior secado (ver figura 8). Se permitió que el almidón se redujera a temperatura ambiente durante aproximadamente 5 horas, facilitando así la evaporación del agua y obteniendo como resultado un almidón en forma de polvo seco (ver figura 9). A continuación, en la tabla 6 se presenta los valores de rendimiento del almidón en muestras de semillas de mango

Tabla 6. Resultados rendimiento almidón en semillas de mango

Peso semillas (g)	Peso almidón (g)	Rendimiento almidón (%)
5.64	1.40	24.82
5.60	1.35	24.10
5.80	1.43	24.65
6.00	1.49	24.83
Total Promedio		24.60

Sánchez, 2024.

Los valores registrados varían entre 5.60 g y 6.00 g en el peso de las semillas, se puede observar una consistencia entre pesos, indicando así una relativa uniformidad en las condiciones de muestreo o recolección. Este peso suele variar cuando hay presencia de semillas vanas por falta de fecundación o excesiva desecación prematura antes de la maduración completa. Por otro lado, refiriéndonos a los resultados en el peso del almidón se determinó que los datos muestran cierta diferenciación, lo que puede deberse a factores intrínsecos y extrínsecos, como la naturaleza de la semilla, la cantidad de agua presente, el proceso de extracción y la temperatura empleada. Las semillas de mango tienen diferentes niveles de humedad, lo que afecta directamente su peso.

En el rendimiento del almidón los resultados oscilan entre el 24.10% y el 24.92%, este parámetro indica la eficiencia en la extracción del almidón en relación con el peso total de las pepas. La consistencia en estos valores sugiere una estabilidad en el proceso de extracción. Para determinar cuántas pepas de mango se necesitaron en total para obtener 150 gramos de almidón extraído, debemos calcularlo basándonos en el rendimiento promedio proporcionado.

El rendimiento general de almidón extraído de las semillas de mango es del 24.60%. Esto significa que, por cada 100 gramos de semillas de mango, se obtiene aproximadamente 24.60. Con esto se puede determinar que necesitamos 610 pepas de mango en total para obtener nuestros 150 gramos

gramos de almidón basándonos en el rendimiento general de este mismo.

4.2 Determinación de las propiedades físico químicas (pH, temperatura, solubilidad, viscosidad, espesor, propiedades de tracción, permeabilidad al vapor, biodegradabilidad, dureza, humedad y solubilidad en agua) del almidón y bioplástico a partir de la semilla de mango.

A continuación, se presenta la tabla 7 donde se puede observar los análisis físico químicos del almidón obtenido a partir de la semilla de mango, se logra determinar varios parámetros tales como: pH, viscosidad, humedad, cenizas y temperatura.

Tabla 7. Valores medios de los análisis físico químicos del almidón obtenido de la semilla de mango.

Análisis	Unidades	Promedio
pH	-	5,9
Viscosidad	cP	426,5
Humedad	%	11,201
Ceniza	%	2,36
Temperatura	°C	55,33

Sanchez,2024

Según los resultados obtenidos en el análisis de pH se puede observar que se obtuvo un promedio de 5,9 Ph, lo cual está dentro del rango establecido. Esto quiere decir que es un valor promedio cercano a la neutralidad lo que ayuda a que el almidón se pueda mezclar con otras sustancias.

En cuanto a los datos obtenidos en viscosidad, indican que el almidón extraído de las semillas de mango tiene un porcentaje promedio de 426,5 cP para este

parámetro. En cuanto a los datos obtenidos en humedad demuestran que el contenido de porcentaje promedio es de 11,201%. Este valor indica que el contenido de humedad es elevado lo que puede afectar directamente a la elaboración del bioplástico. De acuerdo al análisis de cenizas de almidón se indica un promedio de 2,36%. Esta cifra representa la proporción de minerales inorgánicos presentes después de la combustión. Por lo tanto, es importante tratar de mantener un valor de cenizas bajo.

Por último, el registro de temperatura fue de 55,33°C en el análisis del almidón extraído de la semilla de mango. Por lo tanto, la temperatura obtenida en dicho almidón fue un resultado conforme a este parámetro. Si la temperatura está dentro del rango establecido, el almidón tiene mejores propiedades y es más fácil de procesar.

4.2.1. Propiedades de tracción, espesor y solubilidad del bioplástico a partir de las semillas de mango.

A continuación, se presenta la tabla 8 donde se establece el resultado obtenido de las propiedades de tracción, espesor y permeabilidad al vapor del bioplástico a partir de la semilla de mango.

Tabla 8. Valores medios de las propiedades de tracción, espesor y solubilidad del bioplástico obtenido del almidón de semilla de mango.

Tratamientos	Propiedades de tracción (elongación máxima)	Propiedades de tracción (esfuerzo máximo)	Espesor (mm)	Solubilidad
T0	29,13	19,42	0,10	10,05
T1	20,61	14,52	1,20	15,23
T2	24,63	6,00	1,00	15,62
T3	20,44	13,66	0,80	18,04
E.E	0,19	0,19	0,19	0,03

Media y desviación estándar del espesor del almidón obtenido de la semilla de mango.

Sánchez, 2024.

En la tabla 8 se muestra los valores medios y desviación estándar con respecto a las propiedades físicas y mecánicas, así como también su espesor y permeabilidad del bioplástico obtenido a partir del almidón de semilla de mango. Los resultados se muestran para tres tratamientos distintos, designados como T1, T2 y T3.

Como se puede observar con respecto todos los parámetros medidos no existió diferencia significativa entre tratamientos, pero si diferencias numéricas con respecto a las propiedades de tracción, se observa que el tratamiento T2 exhibe la mayor elongación máxima con un valor de 24,63 MPa indicando una mayor capacidad de deformación antes de la rotura en comparación con T1 y T3. Sin embargo, T1 muestra el esfuerzo máximo más alto con 14,52, lo que sugiere una mayor resistencia a la tracción en este tratamiento en particular. T3, por otro lado, presenta valores intermedios en ambas propiedades de tracción.

En relación con el espesor del bioplástico, se puede observar una variación entre los tratamientos. T2 muestra el espesor más delgado con 1,00mm, seguido de T3 con 0,80mm, mientras que T1 presenta un espesor ligeramente mayor de 1,20mm. La permeabilidad al vapor, medida en la tabla como una propiedad importante para evaluar la capacidad del bioplástico para dejar pasar el vapor, muestra consistencia entre los tratamientos T1 y T2, ambos con un valor de 0,14.

Estos resultados pueden ser de utilidad para comprender y comparar las características fundamentales del bioplástico derivado del almidón de semilla de mango en función de diferentes tratamientos, permitiendo así la identificación de aquellos que ofrecen propiedades específicas más deseables en términos de aplicaciones prácticas.

En la tabla 8 se presenta los valores medios y desviación estándar con respecto a la solubilidad en agua, se puede observar que los tres tratamientos mostraron diferentes valores en cuanto a la solubilidad.

Estos resultados indican la proporción y fracción del bioplástico derivado del almidón de semilla de mango que se disuelve en agua bajo las condiciones específicas de cada tratamiento. La variación en los valores de solubilidad puede estar influenciada por diversos factores, como las condiciones de procesamiento, composición química del bioplástico y las propiedades intrínsecas del material.

4.2.4. Biodegradabilidad

4.2.4.1. Biodegradabilidad en suelo

La evaluación de la biodegradabilidad del bioplástico se llevó a cabo a lo largo de un período de 25 días, sometiéndolo a tres diferentes condiciones ambientales: agua, suelo y condiciones ambientales estándar. Durante este periodo, se recopilaron datos que reflejan el grado de degradación del bioplástico bajo cada una de estas condiciones, presentados de manera detallada en la tabla 9.

A continuación, se observa la tabla 9 donde se detallan los datos obtenidos a partir de la biodegradación del bioplástico en el suelo.

























Tabla 9. Valores obtenidos de la biodegradación del día 0,5,10,15,20,25 del bioplástico en el suelo.

Tratamientos	Día 0		Día 5		Día 10		Día 15		Día 20		Día 25	
	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g
T0	23,02	0,62	24,67	0,55	18,23	0,52	26,65	0,48	18,56	0,45	16,13	0,43
T1	19,92	0,53	18,42	0,49	16,94	0,44	15,78	0,42	15,03	0,40	14,28	0,38
T2	21,29	0,66	17,74	0,55	16,45	0,51	19,48	0,48	14,83	0,46	14,83	0,44
T3	20,0	0,69	17,92	0,61	16,92	0,57	15,94	0,55	15,36	0,53	14,49	0,50

Valores porcentuales de la biodegradación del día 0,5,10,15,20,25 del bioplástico en el suelo.

En la tabla 9 se presenta los valores porcentuales con respecto al bioplástico expuesto durante 25 días en el suelo. Se puede observar que la biodegradación del bioplástico en el ambiente suelo va disminuyendo día tras día, también se puede observar los resultados de cada semana hasta completar con los 25 días donde se pudo evidenciar que efectivamente el bioplástico a partir del almidón extraído de la semilla de mango se degradó en un 29,7. %. La presencia y actividad de microorganismos específicos en el suelo, como bacterias y hongos, determinan la tasa y la eficiencia de la biodegradación del bioplástico. La temperatura promedio en el transcurso de estos 25 días fue de 27-30°C esto puede influir de varias maneras en el proceso de secado de un bioplástico al aire libre. Nuestros indicadores de temperatura puntualizan que estamos dentro del rango de temperaturas altas lo que quiere decir que a temperaturas más altas se acelera el proceso de evaporación, lo que llevó a un secado más rápido del bioplástico. Esto puede ser ventajoso para reducir el tiempo total necesario para secar completamente el material. Los resultados del análisis de biodegradabilidad de los bioplásticos expuestos durante 25 días indican una reducción gradual en el peso de las muestras, reflejando un proceso de biodegradación efectivo. Durante este período de evaluación, se registraron mediciones periódicas del peso de los bioplásticos, permitiendo así la obtención de datos precisos sobre su degradación. Estos hallazgos proporcionan una visión detallada del comportamiento de los bioplásticos bajo condiciones ambientales controladas, fundamentales para evaluar su potencial como alternativa sostenible a los plásticos convencionales.

Tabla 10. Resultados de la biodegradación del bioplástico en el suelo.

N	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
T0						
T1						
T2						
T3						

Sanchez,2024.

4.2.4.2. Biodegradabilidad en agua

























La biodegradación del bioplástico expuesto al agua ha demostrado resultados significativos en todos los tratamientos, revelando una notable eficacia en la descomposición del material. Estos resultados pueden atribuirse a diversas interacciones y propiedades. Esta degradación es uno de los principales beneficios de los bioplásticos, ya que son un material sostenible que no contamina el medio ambiente.

La biodegradación rápida podría estar vinculada a la accesibilidad del almidón y otros compuestos orgánicos presentes en la formulación, proporcionando una fuente rica en carbono y energía para los microorganismos del entorno. La presencia de grupos funcionales en el almidón facilita la acción de enzimas y microorganismos, promoviendo la ruptura de los enlaces poliméricos.

El ambiente en el que se realizó la biodegradación también juega un papel crucial. La presencia de agua proporciona el medio necesario para la acción de microorganismos hidrolíticos y bacterias, creando un entorno propicio para la degradación del bioplástico.

A continuación, en la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de la biodegradación en el agua durante los días 0,5,10,15,20 y 25. La temperatura del agua fue de 25°C esto facilitó y aceleró la biodegradación del bioplástico debido a la actividad microbiana optimizada y a las condiciones favorables para los procesos biológicos de descomposición. A temperaturas moderadas como 25 grados centígrados, la actividad microbiana en el agua puede ser óptima para descomponer materiales orgánicos con v os bioplásticos. Los microorganismos responsables de la biodegradación suelen ser más activos a temperaturas moderadas, lo que favorece la descomposición del bioplástico.

Tabla 11. Resultados obtenidos de la biodegradación del bioplástico en el agua.

N	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
T0						
T1						
T2						
T3						

Sanchez,2024.

4.2.4.3. Biodegradabilidad en ambiente.

La biodegradabilidad que obtuvo el bioplástico en el ambiente no presentó mayores cambios como se puede apreciar en la tabla 12. Los resultados obtenidos en este estudio reflejan similitudes con los resultados previamente observados, lo que sugiere que el proceso de degradación en el entorno analizado es considerablemente más lento. Esto se atribuye a la ausencia de condiciones óptimas, como humedad y presencia de microorganismos, elementos que, al contrario de lo que ocurre en ambientes terrestres, no están presentes en este contexto específico.

A continuación, se muestra la tabla 12 donde podemos observar detalladamente los datos obtenidos de la biodegradación del bioplástico en el ambiente y los cambios que estos obtuvieron en dicha condición al pasar los días. La temperatura promedio a la que fueron expuestos los bioplásticos fue de (27-30°C). Al mantener una temperatura constante y moderada, se puede promover un secado uniforme que reduce el riesgo de deformaciones como grietas o curvaturas no deseadas en el bioplástico. Esto indica que temperaturas moderadas ayudaron a preservar las propiedades físicas del bioplástico durante el proceso de secado, como la resistencia y la flexibilidad, sin comprometer su integridad estructural. Los resultados del análisis de biodegradabilidad de los bioplásticos expuestos durante 25 días muestran una variación en el peso de las muestras, influenciada en ciertos días por condiciones ambientales como la humedad. A pesar de fluctuaciones temporales donde se observó un aumento ocasional en el peso de los bioplásticos, globalmente se evidenció una tendencia hacia la reducción del peso, indicativo de un proceso efectivo de biodegradación. Estas observaciones detalladas proporcionan una comprensión más completa del comportamiento de los

bioplásticos en un entorno biodegradable, crucial para evaluar su viabilidad como alternativa sostenible a los plásticos convencionales.

























Tabla 12. Datos obtenidos de la biodegradación del bioplástico en ambiente.

Tratamientos	Día 0 %	g	Día 5 %	g	Día 10 %	g	Día 15 %	g	Día 20 %	g	Día 25 %	g
T0	12,6	0,62	11,34	0,64	13,65	0,62	14,34	0,63	18,23	0,62	18,89	0,63
T1	16,45	0,53	16,45	0,53	16,45	0,53	16,77	0,54	16,77	0,54	17,08	0,55
T2	16,18	0,61	17,77	0,67	16,18	0,61	16,71	0,63	16,44	0,62	16,71	0,63
T3	16,85	0,73	16,62	0,72	16,62	0,72	16,85	0,73	16,16	0,70	16,89	0,73

Valores porcentuales de la biodegradación del día 0 del bioplástico en el ambiente.
Sánchez, 2024.

Se presenta los valores porcentuales con respecto a la biodegradación del bioplástico en un ambiente controlado, específicamente durante el día 0,5,10,15,20,25 del experimento. Se observa que en general hay una tendencia a una ligera disminución en los valores medios a lo largo del tiempo para cada tratamiento, lo que sugiere una cierta degradación del bioplástico. Sin embargo, estas variaciones son relativamente pequeñas. Estos resultados sugieren que, aunque hay una degradación del bioplástico, los tratamientos parecen tener un efecto limitado en este proceso durante el período experimental de 25 días. Los factores que influyen en este medio son la temperatura, humedad, Ph y presencia de microorganismos en el ambiente. Estos factores pueden variar significativamente según la ubicación geográfica y la estación del año.

Tabla 13. Resultados obtenidos de la biodegradación del bioplástico en el ambiente.

N	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
T 0						
T 1						
T 2						
T 3						

Sachez,2024.

4.3 Examinar las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico.

El análisis de las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico obtenido a partir de la extracción de almidón de semilla de mango ha revelado resultados fundamentales que destacan la viabilidad y el potencial de este material sostenible. El estudio se centró en evaluar la respuesta mecánica del bioplástico frente a tensiones y deformaciones, arrojando luz sobre su comportamiento bajo condiciones de carga. Este enfoque innovador busca no solo explorar las propiedades intrínsecas del bioplástico, sino también sentar las bases para su aplicación en diversas industrias. En este contexto, se examinaron aspectos clave como la elasticidad, el esfuerzo de fluencia, carga de fluencia y el esfuerzo máximo, proporcionando información crucial para comprender cómo estas formulaciones responden a fuerzas externas y su potencial para reemplazar a los plásticos convencionales en aplicaciones prácticas.

A continuación, se presentan la tabla 14 con los resultados obtenidos de las pruebas de tracción del bioplásticos a partir de las semillas de mango.

Tabla 14. Resultados de análisis las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico.

Tratamientos	Módulo elasticidad (mpa)	Esfuerzo de fluencia (mpa)	Carga de fluencia (n)	Carga máxima (mpa)
T0	16,25 ^a	1,02 ^a	1,02 ^a	8,25 ^a
T1	10,20 ^b	0,1 ^b	0,1 ^b	3,03 ^b
T2	10,20 ^b	0,1 ^b	0,1 ^b	6,48 ^a
T3	10,20 ^b	0,1 ^b	0,1 ^b	1,56 ^b
DE	1,14	0,05	0,05	0,75

Sánchez, 2024.

En la Tabla 14 se presenta los valores medios y desviación estándar con respecto a los resultados del análisis de las propiedades mecánicas de tensión de las formulaciones prototipo del bioplástico, como se puede observar si se comparan los tratamientos formulados con el tratamiento control ningún tratamiento presenta características similares en las propiedades mecánicas lo que se da pie a futuras investigaciones para determinar otras formulaciones en búsqueda de parámetros similares del tratamiento control.





Observando los resultados para cada tratamiento identificado como T1, T2 y T3. El módulo de elasticidad, refleja la capacidad del material para recuperarse después de una deformación elástica. En el Tratamiento T1, el módulo de elasticidad es de 1,267 MPa, mientras que en el T2 y T3, se observan valores de 5,079 MPa y 3,523 MPa, respectivamente. El esfuerzo de fluencia, medido en MPa, indica la carga máxima que el material puede soportar antes de experimentar deformación permanente. Los tratamientos exhiben esfuerzos de fluencia de 2,05 MPa (T1), 25,02 MPa (T2) y 0,75 MPa (T3). La carga de fluencia, representa la fuerza asociada con el esfuerzo de fluencia, con valores de 1,55 N (T1), 34,90 N (T2) y 1,35 N (T3). Finalmente, la carga máxima, expresada en MPa, indica la carga máxima antes de la rotura, mostrando valores de 2,54 MPa (T1), 35,34 MPa (T2) y 1,56 MPa (T3). Estos resultados sugieren variaciones significativas en las propiedades mecánicas entre los tratamientos, lo que podría atribuirse a diferencias en la formulación del bioplástico y las condiciones de procesamiento. El análisis detalla que los parámetros proporcionan una comprensión integral de cómo cada formulación responde a las fuerzas aplicadas, siendo esencial para la optimización y diseño de bioplásticos con propiedades mecánicas específicas.

4.4 Comparar la biodegradabilidad de las formulaciones prototipo del bioplástico.

Se hizo una comparación total de las formulaciones prototipo del bioplástico para poder destacar el mejor tratamiento expuesto en los diferentes tipos de ambientes. En comparación con los otros tratamientos, el T3 el cual esta formulado con una composición de 60g de almidón, 10g de glicerina, 10g de celulosa y 20g de agua resultó ser el mejor en biodegradabilidad correspondiente a los tres ambientes expuestos (Agua, Suelo y Aire) Esto se debe a que el tratamiento tenía una composición más balanceada de los componentes además la pérdida de peso que obtuvo fue más notoria entre los demás tratamientos evaluados, lo que facilitó la degradación del bioplástico. Su composición que consta de 60g de almidón, 10g glicerina, 10g celulosa, 20g agua ha demostrado ser la más factible al momento de biodegradarse en los diferentes tipos de ambientes.

A continuación, se presentan la tabla 15 con los resultados obtenidos de la comparación de biodegradabilidad del bioplásticos a partir de las semillas de mango.

Tabla 15. Comparación de biodegradabilidad en los tres ambientes.

Suelo		Ambiente		Agua	
Día 0	Día 25	Día 0	Día 25	Día 0	Día 25
					
0,76	0,57	0,61	0,79		

Comparación de la biodegradabilidad en los tres tratamientos y tres ambientes.
Sánchez, 2024

5. Discusión

Durante el desarrollo de esta investigación, se tuvo como propósito desarrollar un bioplástico a partir de la extracción de almidón de semilla de mango, ofreciendo una gran alternativa a los plásticos tradicionales derivados de las fuentes de petróleo, siendo significativamente contaminantes para el medio ambiente, de esta forma siendo innovadores y cuidadosos con la naturaleza.

Escribano, 2020, Menciona en su trabajo investigativo que la cáscara de maracuyá en la producción de bioplásticos se acompaña del empleo de glicerina como aditivo plastificante, con una concentración del 25%. Se observa que la inclusión de glicerina incide en la resistencia a la tracción y en la elongación de los bioplásticos. Como resultado en la investigación se obtuvo que al extraer el almidón de las semillas de mango usando Metabisulfito al 5% se observó que también incide en la resistencia a la tracción y en la elongación de los bioplásticos con un rendimiento que oscila entre el 24.10% y el 24.92% se determinó que ambos estudios son significativos al momento de buscar alternativas para materiales sostenibles.

Según la información obtenida en la investigación los extractos de almidón, además de ser sostenibles son biodegradables siendo así menos persistentes para el medio ambiente después de su uso. Holguín, 2019, resalta el proceso de elaboración de bioplásticos a partir de almidón de papa, enfatizando la necesidad de elegir el método apropiado para asegurar la calidad del producto final. Cuidando sus niveles de pH para garantizar su compatibilidad con otros compuestos. Frente a los resultados obtenidos el almidón extraído de semillas de mango muestra un potencial prometedor para la elaboración de bioplásticos, dado su pH cercano a la neutralidad (5,9), no solo cuidando de este, sino también la viscosidad promedio,

que refleja una calidad media del almidón y el alto contenido de humedad garantizando la calidad del bioplástico.

Giraldo y Angueta ,2019, en su investigación ofrece idea diferente al explorar el desarrollo de bioplásticos a base de almidón de yuca y maíz, combinados con diversos plastificantes. Su enfoque en pruebas físicas y mecánicas, Destaca el tratamiento que emplea almidón de yuca y PVA, mostrando los mejores resultados, lo que sugiere una formulación efectiva para este tipo de bioplástico. Como resultados de nuestra investigación se observa las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido a partir del almidón de semilla de mango, presentando aproximación novedosa. Se resaltan elementos fundamentales como la elasticidad, el esfuerzo de fluencia y la carga máxima, brindando una comprensión profunda de cómo este material reacciona ante diversas fuerzas externas. Estos hallazgos son esenciales para perfeccionar su formulación y diseño con atributos mecánicos específicos, lo cual podría potenciar su viabilidad como una alternativa sostenible a los plásticos tradicionales.

Guamá ,2018, en su investigación resalta la utilización del almidón extraído de la cáscara de papa variedad Superchola en la fabricación de láminas de bioplástico, mostrando resultados prometedores en términos de propiedades físicas y mecánicas. Como resultados se realizó un estudio exhaustivo de diversas formulaciones prototipo de bioplástico destacando la importancia de alcanzar un equilibrio óptimo entre los distintos componentes para favorecer la biodegradabilidad. Los resultados señalan que una composición específica, con 60g de almidón, 10g de glicerina, 10g de celulosa y 20g de agua. Esta mezcla balanceada facilitó una pérdida de peso significativa, promoviendo así la degradación efectiva del bioplástico.

6. Conclusiones

La utilización del almidón extraído de las semillas de mango con el propósito de fabricar bioplásticos se presenta como una opción altamente prometedora. Este bioplástico, al ser derivado de una fuente renovable como las semillas de mango, exhibe propiedades intrínsecamente biodegradables, posicionándose como una alternativa sostenible a los plásticos convencionales. Por otro lado, la determinación de las propiedades físico-químicas del bioplástico derivado del almidón de semilla de mango ofrece una evaluación exhaustiva de su calidad y rendimiento. La caracterización abarcó diversos parámetros, como el pH, que se mantuvo dentro del rango aceptable (5.8-6.0) según la Norma Técnica Ecuatoriana. Esto sugiere que el proceso de hidrólisis no afectó adversamente la calidad del almidón extraído. Además, la temperatura registrada durante el análisis señala la estabilidad térmica del almidón bajo las condiciones específicas del proceso.

La solubilidad y viscosidad, con un rango de viscosidad de 412.6-446.3, indican una calidad media esencial para el desarrollo de bioplásticos. El análisis del espesor revela consistencia en los resultados entre los tratamientos T1, T2 y T3, con una desviación estándar constante de 0,19. Las propiedades de tracción arrojan resultados fundamentales que respaldan la viabilidad y el potencial de este material sostenible, mientras que la permeabilidad al vapor, la biodegradabilidad y la humedad (11,201%) son esenciales para la estabilidad del almidón. Estos análisis son imperativos para comprender la viabilidad técnica y las posibles aplicaciones del bioplástico, destacando su contribución potencial a soluciones sostenibles en la industria de los materiales.

La evaluación de las propiedades mecánicas de tensión en los prototipos formulados de bioplástico se revela como una fase crítica en el proceso investigativo.

La comparación de la biodegradabilidad entre los prototipos de bioplásticos es crucial para evaluar su impacto ambiental. Este análisis informa sobre la capacidad de descomposición del material y orienta la optimización de las formulaciones hacia soluciones más sostenibles.

7. Recomendaciones

El proceso de la investigación permitió desarrollar las siguientes recomendaciones:

Con el propósito de perfeccionar el proceso de obtención de almidón de semillas de mango, se sugiere realizar una evaluación detallada del tiempo de sumersión en la solución de Metabisulfito al 5% mediante un muestreo de varios tratamientos para encontrar el equilibrio ideal entre inactivar enzimas y minimizar el tiempo de proceso. El comprender la calidad del almidón.

Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales en el futuro enfocadas en la producción de plásticos biodegradables destinados a envases de alimentos, con el objetivo de verificar su similitud con los plásticos convencionales.

Es recomendable ejercer precaución durante el proceso de fabricación de estos plásticos biodegradables para prevenir la contaminación, permitiendo así la realización de un análisis microbiológico, especialmente debido a su aplicación en productos alimenticios.

8. Bibliografía

- Apolinario, R., Rodríguez, M., & Zambrano, L. (2022). La cadena de valor del mango ecuatoriano y su competitividad internacional. *Compendium*, 24(47). Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/880/88069714002/html/>
- Apriyanto, A., Compart, J., & Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*, 318(6), 1-8. doi:10.1016/j.plantsci.2022.111223
- Barrera, J., Carrera, L., Flores, A., & Rodríguez, A. (2022). Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de garbanzo (*cicer arietinum*). *ConcienciaDigital*, 5(1), 57-69. doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.1964
- Bello, L., & Acevedo, E. (2017). Starch. En M. Villar, S. Barbosa, & L. Castillo, *Starch-Based Materials in Food Packaging* (págs. 1-18). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-809439-6.00001-7
- Bertoft, E. (2015). Fine Structure of Amylopectin. En Y. Nakamura, *Starch Metabolism and Structure*. Springer Japan. doi:10.1007/978-4-431-55495-0_1
- Calero, M., & Lapo, E. (2021). *Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (Musa paradisiaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos* (tesis de grado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Chakraborty, I. (2022). An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 1195–1223. doi:10.1007/s11947-022-02761-z

- Chandrasekhar, J., Natarajan, K., Badami, S., & Chetty, C. M. (2015). Carbohydrate composition and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit varieties. *Food Chemistry*, 172, 322-326.
- Chimpatasi, M. (2021). *Elaboración de biopelícula biodegradable a partir del desecho industrial de la semilla de aguacate (Persea americana), para sustituir alternativamente materiales obtenidos de polímeros sintéticos*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16740>
- Cordeiro, E., Nunes, Y., & Freitas, R. (2018). Polymer Biocomposites and Nanobiocomposites Obtained from Mango Seeds. *Macromolecular Symposia*, 16(4), 39-54. doi:10.1002/masy.201300217
- Cornejo, Y., Martínez, J., Del Toro, C., Wong, F., & Barboa, J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003-1017. doi:10.1080/19476337.2018.1518343
- Escribano, V. (2020). *Desarrollo y caracterización de un bioplástico a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)* (tesis de grado). Universidad Señor de Sipan. Pimentel, Perú .
- García, C., & Sánchez, F. (2021). *Uso de los residuos de la cáscara de banano (Musa paradisiaca), para la elaboración de material plástico biodegradable, ESPAM MFL*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador.
- Giraldo, L., & Angueta, M. (2019). *Elaboración de envases bioplásticos mediante el aprovechamiento de materias primas vegetales con fines industriales* (tesis de grado). Universidad Técnica de Quevedo, Quevedo, Ecuador:.

- Guamán, J. (2010). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial* (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador:.
- Guerrero, G. (2018). La producción del mango ecuatoriano. *Perspectiva*, 5(3). Recuperado de https://perspectiva.ide.edu.ec/investiga/wp-content/uploads/2018/06/Perspectiva-Junio-2018_1-P.pdf
- Gupta, A., Gurjar, P., Beer, K., Pongener, C., Ravi, C., & Singh, S. (2022). A review on valorization of different byproducts of mango (*Mangifera indica* L.) for functional food and human health. *Food Bioscience*, 36(5), 123-135. doi:10.1016/j.fbio.2022.101783
- Hanashiro, I. (2015). Fine Structure of Amylose. En Y. Nakamura, *Starch* (págs. 40-60). Springer Japan. doi:10.1007/978-4-431-55495-0_2
- Holguín, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*: Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- Ledesma, A., Dalgo, M., Flores, L. M., & Chango, G. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las ciencias*, 7(4), 39–56. doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080
- León, G., León, D., Monroy, M., De La Espriella, S., & Herrera, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-626. doi:10.5281/zenodo.4263365
- Li, H., Zhou, M., & ElGasin, A. (2022). From fruit and vegetable waste to degradable bioplastic films and advanced materials: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 54-67. doi:10.1016/j.scp.2022.100859

- Liu, Q., Donner, E., Tarn, R., Singh, J., & Chung, H. (2014). Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch. En J. Singh, *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-374349-7.X0001-3
- Loor, E., Ortega, J., Moran, J., Campana, W., & Fuentes, T. (2023). Situación actual y perspectivas del cultivo de mango (*Mangifera indica L.*) en el Sur de Manabi, Ecuador. *UNESUM-Ciencias*, 1-17. doi:10.47230/unesciencias.v7.n1.2023.672
- Macías, E., Anchundia, O., García, S., García, G., & Giler, S. (2023). Obtención y caracterización de un bioplástico a base de cáscara de coco y papaya. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 6(12), 79-92. doi.org/10.46296/ig.v6i12.0105
- Magallanes, P., Flores, P., & Bello, L. (2017). Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. *Journal of Food Science*, 82(13), 1995-2225. doi:10.1111/1750-3841.13809
- Maitlo, G., Ali, I., Unar, I., & Ahmad, M. (2022). Plastic Waste Recycling, Applications, and Future Prospects for a Sustainable Environment. *Sustainability*, 14(18), 116-123. doi:10.3390/su141811637
- Merino, D., Quilez, A., Perotto, G., Bassani, A., & Spigno, G. (2022). A second life for fruit and vegetable waste: a review on bioplastic films and coatings for potential food protection applications. *Green Chemistry*, 24(12), 104-115. doi:10.1039/d1gc03904k
- Morocho, M., Flores, L., Dalgo, M., Chango, G. (2020). Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. *Dom. Cien*, 7(4), 623-637. doi:10.23857/dc.v7i4.2114

- Ortíz, M. (2019). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (Mangifera indica) con aplicación potencial en envases* (tesis de grado). Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
- Piedra, V., Salvador, M., Guzmán, L., Santos, R., Chango, J. (2020). Estudio de la Viscosidad en un Crudo Aditivado con Dispersantes y Disolventes Asfálticos. *Revista Politécnica*, 46(2), 7-20. doi:/10.33333/rp.vol46n2.01
- Pillco, C., Cuéllar, J., & Guzmán, D. (2021). Composición físico química y análisis proximal del fruto de sofaique geoffroea decorticans (hook. Et arn.) procedente de la región Ica-Perú. *Soc Quím Perú*, 87(1). doi:10.37761/rsqp.v87i1.319
- Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S., Zapata, A. (2017). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú* (tesis de grado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Quintero, D., & Ramírez, J. (2013). *Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca (tesis de grado)*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Rathore, H. A., Akbar, E., & Liaquat, M. (2020). Nutritional and medicinal values of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 12(9), 157-165.
- Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón. Ciencias, Tecnología Y Negocios*, 7(1), 1–11. doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1
- Sharif, M. K., Butt, M. S., Anjum, F. M., Khan, S. H., & Saeed, S. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.): A magnificent plant with cancer preventive and

- anticancer activities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(1), 103-120.
- Sani, I., Juma, A., Rhim, J., & Mohammadi, F. (2022). Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. *Food Chemistry*, 405(B), 123-136. doi:10.1016/j.foodchem.2022.134964
- Simancas, R., Fernández, L., Díaz, C., Pérez, S., & Alañón, M. (2021). Comprehensive research on mango by-products applications in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 118(1), 179-188. doi:10.1016/j.tifs.2021.09.024
- Trejo, V., Aragón, N., Miranda, P. (2001). Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45(1), 1-5. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v45n1/v45n1a1.pdf>
- Tirado, D., Montero, P., & Acevedo, D. (2015). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(2). Recuperado de 10.4067/S0718-07642015000200002
- Walker, T., & Fequet, L. (2022). Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 160(35). doi:10.1016/j.trac.2023.116984

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Extracción de almidón



Figura 4. Sumersión en solución de metabisulfito de sodio.
Sánchez, 2024



Figura 5. Licuado de pepas.
Sanchez, 2024



Figura 6. Filtrado
Sanchez, 2024



Figura 7. Centrifugado
Sanchez, 2024



Figura 8. Secado
Sanchez, 2024



Figura 9. Almidón extraído.
Sánchez, 2024

9.2 Anexo 2. Elaboración del bioplástico.



Figura 10. Elaboración del bioplástico a partir del almidón de la semilla de mango.
Sanchez, 2024.



Figura 11. Moldeado de bioplástico.
Sanchez, 2024



Figura 12. Proceso de secado del bioplástico.
Sánchez, 2024



Figura 13. Láminas de bioplástico por tratamientos. Sánchez, 2024.

9.3 Anexo 3 Análisis realizados en la universidad



Figura 14. Análisis de pH en el almidón a partir de la semilla de mango.



Figura 15. Análisis de viscosidad del almidón a partir de la semilla de mango.



Figura 16. Análisis de temperatura del almidón a partir de la semilla de mango.



Figura 17. Análisis del contenido de humedad del almidón a partir de la semilla de mango.



Figura 18. Análisis de contenido de cenizas del almidón a partir de la semilla de mango.



Figura 19. Análisis de solubilidad del bioplástico.

9.4 Anexo 4. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2588:2012 Disposición de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola. Requisitos.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2588:2012

DISPOSICIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS EN DESUSO PROVENIENTES DEL SECTOR AGRÍCOLA. REQUISITOS.

Primera Edición

DISPOSITION OF PLASTIC PRODUCTS IN DISUSE COMING FROM THE AGRICULTURAL SECTOR. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, desechos, plásticos en desuso, plásticos del sector agrícola, acopio, almacenamiento, transporte, reciclaje, coprocesamiento, incineración, disposición, requisitos.
CA 04.02-401
CDU: 628.47
CIU: 6100
ICS: 13.030.01

CDU: 628.47
ICS: 13.030.01



CIU: 6100
CA 04.02-401

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	DISPOSICIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS EN DESUSO PROVENIENTES DEL SECTOR AGRÍCOLA. REQUISITOS	NTE INEN 2588:2012 2012-07
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la disposición de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma aplica a todo tipo de fundas, mangas, láminas y películas plásticas en desuso, que se manejan en el sector agrícola en todo el territorio ecuatoriano.</p> <p>2.2 Esta norma no aplica a los envases de plaguicidas, que se encuentran normados por la NTE INEN 2078.</p> <p>2.3 Esta norma no aplica a los equipos de protección personal utilizados en la aplicación de soluciones de plaguicidas, así como el material utilizado en la recolección y limpieza de derrames de plaguicidas, que se encuentran regulados por la AAN, dentro de los listados de desechos peligrosos.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2571 y las que a continuación se detallan:</p> <p>3.1.1 <i>Cinta de color</i>. Lámina de poliolefina pigmentada.</p> <p>3.1.2 <i>Geomembrana</i>. Geosintético esencialmente impermeable compuesto de una o más capas sintéticas.</p> <p>3.1.3 <i>Lámina</i>. Es una forma plástica en la que el espesor es muy pequeño en proporción a la longitud y sección y en la que el plástico está presente como una fase continua, con o sin relleno.</p> <p>3.1.4 <i>Película (film)</i>. Lámina de espesor nominal no mayor a 0,25 mm.</p> <p>3.1.5 <i>Plásticos de polietileno</i>. Plásticos basados en polímeros hechos con etileno como monómero esencial.</p> <p>3.1.6 <i>Polietileno (PE)</i>. Es un polímero preparado por la polimerización del etileno como único monómero.</p> <p>3.1.7 <i>Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)</i>. Plástico de polietileno lineal que tiene una densidad estándar de 0,941 g/cm³ o mayor.</p> <p>3.1.8 <i>Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE)</i>. Plástico de polietileno ramificado que tiene una densidad estándar en el rango de 0,910 – 0,925 g/cm³.</p> <p>3.1.9 <i>Polietileno de media densidad (PEMD o MDPE)</i>. Plástico de polietileno ramificado que tiene una densidad estándar en el rango de 0,926 – 0,940 g/cm³.</p> <p>3.1.10 <i>Polipropileno (PP)</i>. Es un polímero preparado por la polimerización del propileno como único monómero.</p> <p>3.1.11 <i>Reciclaje</i>. Transformación de un material usado para que se pueda volver a utilizar.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p>DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, desechos, plásticos en desuso, plásticos del sector agrícola, acopio, almacenamiento, transporte, reciclaje, coprocesamiento, incineración, disposición, requisitos.</p>		

3.1.12 Reciclaje químico. Permite la recuperación de los residuos plásticos obteniéndose materia prima de calidad idéntica a la virgen. Mediante diversos procesos se craquean las moléculas de los polímeros, debiendo dar lugar nuevamente a las materias primas.

3.1.13 Reciclaje mecánico o tratamiento primario. Consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original.

3.1.14 Regularización ambiental. Proceso mediante el cual una persona natural o jurídica obtiene el permiso de la Autoridad Ambiental competente para el manejo de los materiales descritos en esta norma, sea licencia ambiental o ficha ambiental.

En el sector bananero:

3.1.15 Manga. Película de polietileno que tiene forma tubular flexible abierta por los extremos y con perforaciones, que sirve para colocarlo sobre el racimo de banano con varios fines, entre ellos, proteger de insectos y el aceleramiento de maduración.

3.1.16 Daipa. Es una funda perforada que sirve para ser colocado en los dedos de una mano del racimo de banano, y de esta manera evitar los daños que se producen o provocan a la mano superior, tales como estropeo, lastimaduras, etc.

3.1.17 Protector. Lámina de poliolefinas expandidas que sirve para proteger las manos del racimo de banano, respecto del daño que puede provocar la mano vecina, que se encuentra ubicada en la parte inferior.

3.1.18 Corbatín. Pequeña cinta de poliolefina impregnada de insecticidas, que controlan a los insectos que atacan al racimo de banano.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 El manejo de las fundas, mangas, láminas y películas plásticas en desuso provenientes del sector agrícola se realizará de acuerdo con los avances en la ciencia y la tecnología disponible, debiendo aplicar en cualquier caso un manejo ambientalmente racional que promueva el reciclaje y por tanto disminuya la contaminación.

4.2 Se debe realizar la entrega total de los productos plásticos en desuso únicamente a las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que cuenten con la regularización ambiental de acuerdo a su actividad, otorgada por el Ministerio del Ambiente o por la AAAR.

4.3 Quienes manejen productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola deben establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para la identificación, el almacenamiento, la protección, la recuperación, el tiempo de retención y la disposición de los registros de los productos plásticos en desuso.

4.4 Todas las etapas de la gestión deben ir acompañadas de la hoja de seguridad del material manejado.

4.5 Quienes manejen productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola deben contar con los medios de prevención para evitar la ocurrencia de incendios y disponer de un plan de contingencia, a más del equipo y personal adecuado para el control de emergencias.

4.6 Los fabricantes y/o los importadores de materias primas y/o productos plásticos son co-responsables en la gestión de los plásticos cuando estos entran en desuso.

4.7 En la figura 1 se describe el flujo de productos plásticos en desuso provenientes del sector agrícola establecidos en el alcance de la presente norma.

(Continúa)

9.5 Anexo 5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635:2012. Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2635:2012

MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.

Primera Edición

TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF THIN PLASTIC SHEETING.

First Edition

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.
PL 03.01-310
CDU: 678.5-620.172
CIIU: 3500
ICS: 83.140.10

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS	NTE INEN 2635:2012 2012-07
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma describe el método de ensayo para determinar las propiedades de tracción de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas (menos de 1,0 mm de espesor).</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma aplica a los plásticos en forma de láminas delgadas y películas de menos de 1,0 mm de espesor (ver notas 1 y 2).</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en el anexo del Método de ensayo D638 de ASTM y además las siguientes:</p> <p>3.1.1 <i>Anisotrópico (a)</i>. Que tiene diferentes valores para una propiedad, en diferentes direcciones.</p> <p>3.1.2 <i>Falla por desgarramiento</i>. Una falla en la tracción caracterizada por la fractura iniciada en un borde de la probeta y que avanza a través de la probeta a una velocidad lo suficientemente lenta para producir una curva anómala de carga-deformación.</p> <p>3.1.3 <i>Mordaza lineal</i>. Mordaza que tiene sus caras diseñadas para concentrar toda la fuerza de agarre a lo largo de una sola línea perpendicular a la dirección de la prueba de tensión. Esto es realizado generalmente mediante la combinación de una cara plana estándar y una cara opuesta de la que sobresale una media caña (<i>redondeada</i>).</p> <p>3.1.4 <i>Mordaza plana</i>. Mordaza con caras planas y forradas con caucho delgado, lija fina o gruesa, o cinta sensible a la presión.</p> <p>3.1.5 <i>Retraso inercial</i>. Retraso en la respuesta de un flujo frente a las fuerzas que actúan sobre él.</p> <p style="text-align: center;">4. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>4.1 Este método de ensayo puede ser utilizado para comprobar todos los plásticos dentro del rango de espesores descritos y de la capacidad de la máquina empleada.</p> <p>4.2 La extensión de la probeta se puede medir por la separación de las mordazas, indicadores de extensión o desplazamiento de marcas de calibre.</p> <p>4.3 Se incluye el procedimiento para la determinación del módulo de elasticidad en tracción a una velocidad de deformación (ver nota 3).</p> <p><small>NOTA 1. Película se define en la terminología de la NTE INEN 2636 como un término opcional para láminas con un espesor nominal no superior a 0,25 mm.</small></p> <p><small>NOTA 2. Las propiedades de tracción de los plásticos de 1,0 mm o más de espesor se deben determinar de acuerdo al método de ensayo descrito en la norma ASTM D638.</small></p> <p><small>NOTA 3. La determinación del módulo se basa generalmente en el uso de la separación de las mordazas como una medida de la extensión, sin embargo, la conveniencia del uso de extensómetros, como se describe en el numeral 5.2, es reconocida y la provisión para el uso de tales instrumentos se incorpora en el procedimiento.</small></p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p><small>DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.</small></p>		

4.4 Los datos de ensayo obtenidos por este método de ensayo son relevantes y apropiados para utilizarse en diseño de ingeniería.

4.5 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

4.6 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente sobre seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias previo a su uso.

4.7 Significancia y uso

4.7.1 Las propiedades de tracción determinadas por este método de ensayo son importantes para la identificación y caracterización de materiales para fines de control y especificación. Las propiedades de tracción pueden variar con el espesor de la muestra, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas utilizadas, y la forma de medir la extensión. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser cuidadosamente controlados. Este método de ensayo se debe utilizar para fines de arbitraje, a menos que se indique lo contrario en las especificaciones del material en particular. Para muchos materiales, puede haber una especificación que requiere el uso de este método de ensayo, pero con algunas modificaciones de procedimiento que tienen prioridad cuando se agregan a la especificación. Por lo tanto, es aconsejable hacer referencia a la especificación del material antes de usar este método de ensayo. La tabla 1 en la clasificación de la ASTM D4000 enlista las normas ASTM de los materiales que existen actualmente.

4.7.2 Las propiedades de tracción pueden ser utilizadas para proporcionar datos para investigación y desarrollo, y diseño de ingeniería, así como control de calidad y especificación. Sin embargo, los datos de estos ensayos no pueden ser considerados significativos para aplicaciones que difieren ampliamente en la escala carga-tiempo de la prueba empleada.

4.7.3 El módulo de elasticidad en tracción es un índice de la rigidez de las láminas de plástico delgadas. La reproducibilidad de los resultados del ensayo es buena cuando se mantiene un control preciso sobre todas las condiciones de prueba. Cuando se comparan la rigidez en materiales diferentes, deben emplearse probetas de dimensiones idénticas.

4.7.4 La energía de tracción en la rotura (ETR) es la energía total absorbida por unidad de volumen de la probeta hasta el punto de ruptura. En algunos textos esta propiedad ha sido referida como resistencia. Se utiliza para evaluar materiales que son objeto de uso intenso o que pueden atascar los equipos de transporte de red en caso de mal funcionamiento de una máquina en aplicaciones de uso final.

Sin embargo, la velocidad de deformación, los parámetros de la probeta y especialmente los defectos pueden ocasionar grandes variaciones en los resultados. En ese sentido, se recomienda precaución en la utilización de los resultados de la prueba ETR para aplicaciones de diseño de uso final.

4.7.5 Los materiales que fallan por desgarramiento generan datos anómalos que no puede ser comparados con aquellos de falla normal.

4.8 Correspondencia. Esta norma INEN es la versión oficial, en español, para el Ecuador, de la Norma ASTM D 882-10.

5. EQUIPO

5.1 Máquina de ensayo. Una máquina de prueba del tipo *velocidad constante de movimiento de cruzeta* y que comprende básicamente lo siguiente:

5.1.1 Elemento fijo. Un elemento fijo o esencialmente estacionario que lleva una mordaza.

5.1.2 Elemento móvil. Un elemento móvil que lleva una segunda mordaza.

9.6 Anexo 6. Resultado de análisis de análisis mecánico lámina de plástico biodegradable

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
T1	,2000	16,5000	17,0000

Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
T1	--	--	--	--	--
Media	--	--	--	--	--
Desviación Estandar	--	--	--	--	--
Maximo	--	--	--	--	--
Mínimo	--	--	--	--	--
Rango	--	--	--	--	--
Mediana	--	--	--	--	--
Media JIS	--	--	--	--	--
Coef.Variacion	--	--	--	--	--
3 Sigma	--	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
T1	--	--	--	--	,00922
Media	--	--	--	--	,00922
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	,00922
Mínimo	--	--	--	--	,00922
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,00922
Media JIS	--	--	--	--	,00922
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
T1	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Media	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Mínimo	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Media JIS	3,03250	3,05300	,91894	17,9588	,68000
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
T1	4,23633	,20606	24,9196
Media	4,23633	,20606	24,9196

Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000
Maximo	4,23633	,20606	24,9196
Mínimo	4,23633	,20606	24,9196
Rango	,00000	,00000	,00000
Mediana	4,23633	,20606	24,9196
Media JIS	4,23633	,20606	24,9196
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000

Figura 20. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 24% de almidón.

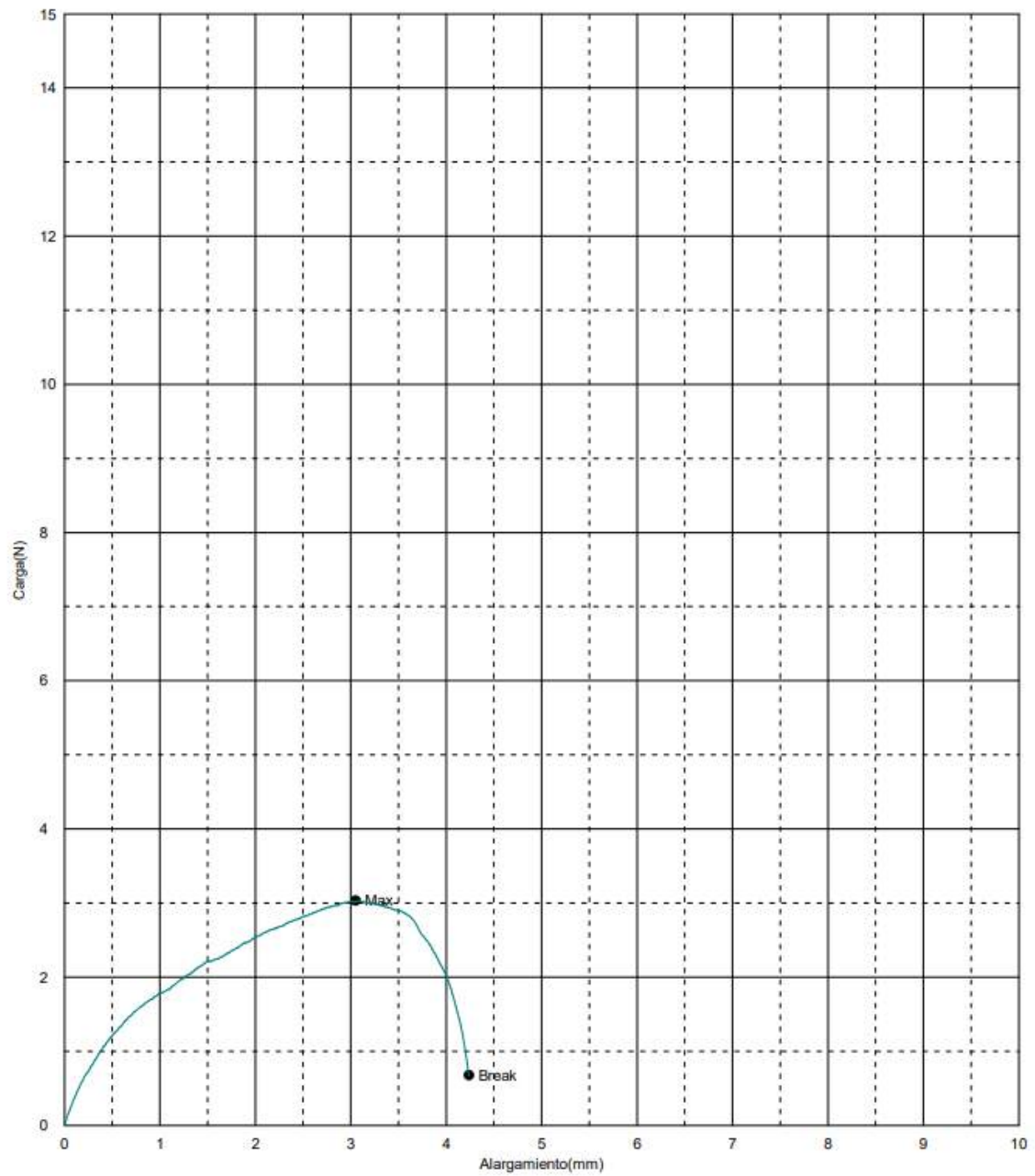


Figura 21. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 24% de almidón.

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
T2	7,0000	18,3000	32,4000

Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
T2	--	--	--	--	--
Media	--	--	--	--	--
Desviación Estandar	--	--	--	--	--
Maximo	--	--	--	--	--
Minimo	--	--	--	--	--
Rango	--	--	--	--	--
Mediana	--	--	--	--	--
Media JIS	--	--	--	--	--
Coef.Variacion	--	--	--	--	--
3 Sigma	--	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
T2	--	--	--	--	,02682
Media	--	--	--	--	,02682
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	,02682
Minimo	--	--	--	--	,02682
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,02682
Media JIS	--	--	--	--	,02682
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
T2	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Media	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Minimo	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Media JIS	6,48250	5,03900	,05060	15,5525	,56750
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
T2	6,18900	,00443	19,1019
Media	6,18900	,00443	19,1019

Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000
Maximo	6,18900	,00443	19,1019
Mínimo	6,18900	,00443	19,1019
Rango	,00000	,00000	,00000
Mediana	6,18900	,00443	19,1019
Media JIS	6,18900	,00443	19,1019
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000

Figura 22. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 16% de almidón.

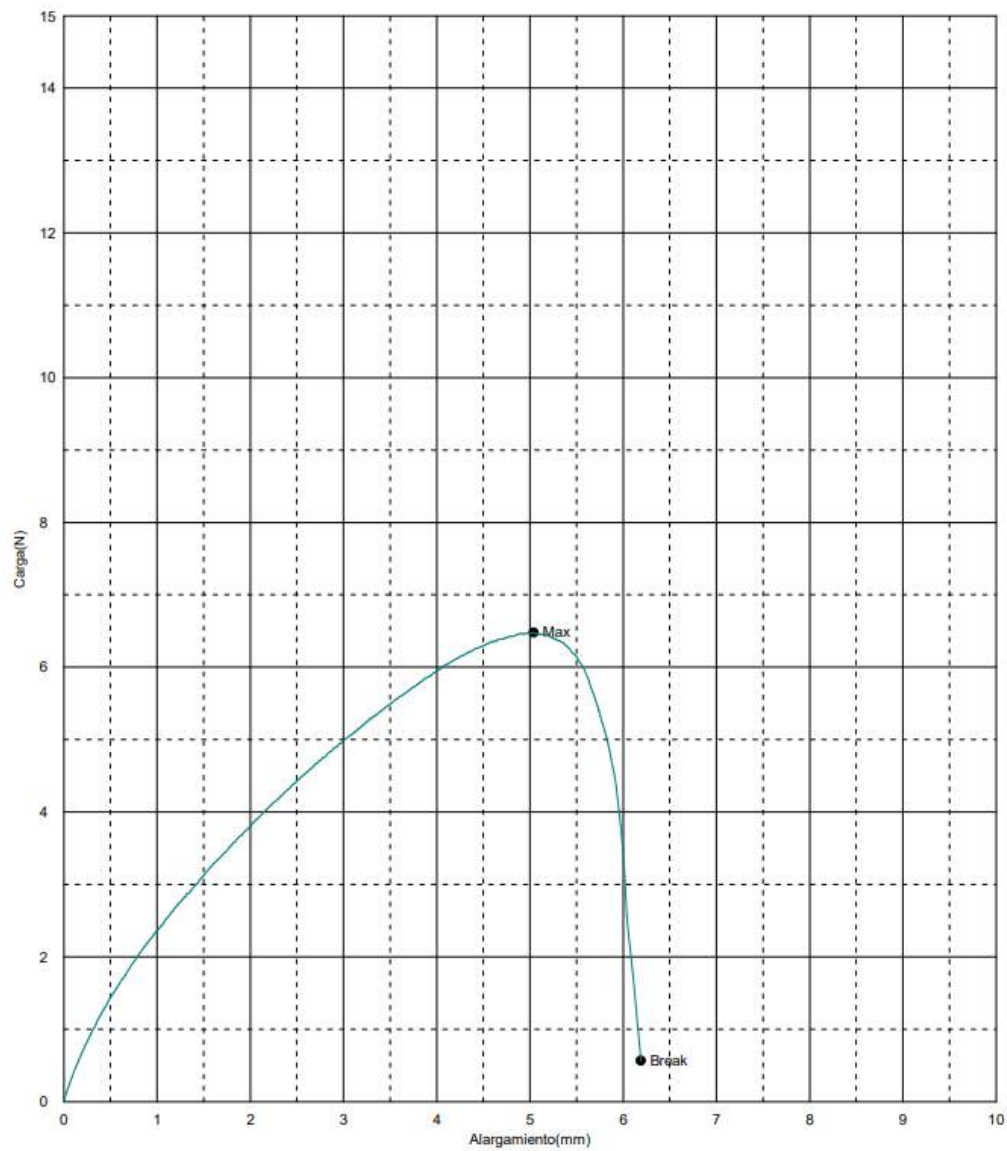


Figura 23. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 16% de almidón.

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
T3	,3000	16,4000	38,0000

Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
T3	268,414	--	--	--	--
Media	268,414	--	--	--	--
Desviación Estandar	,00000	--	--	--	--
Maximo	268,414	--	--	--	--
Minimo	268,414	--	--	--	--
Rango	,00000	--	--	--	--
Mediana	268,414	--	--	--	--
Media JIS	268,414	--	--	--	--
Coef.Variacion	,00000	--	--	--	--
3 Sigma	,00000	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
T3	--	--	--	--	,10256
Media	--	--	--	--	,10256
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	,10256
Minimo	--	--	--	--	,10256
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,10256
Media JIS	--	--	--	--	,10256
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
T3	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Media	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Minimo	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Media JIS	29,9500	1,60633	6,08740	4,22719	,73250
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
T3	4,95633	,14888	13,0430
Media	4,95633	,14888	13,0430

Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000
Maximo	4,95633	,14888	13,0430
Mínimo	4,95633	,14888	13,0430
Rango	,00000	,00000	,00000
Mediana	4,95633	,14888	13,0430
Media JIS	4,95633	,14888	13,0430
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000

Figura 24. Resultado del análisis mecánico lámina de bioplástico con 8% de almidón.

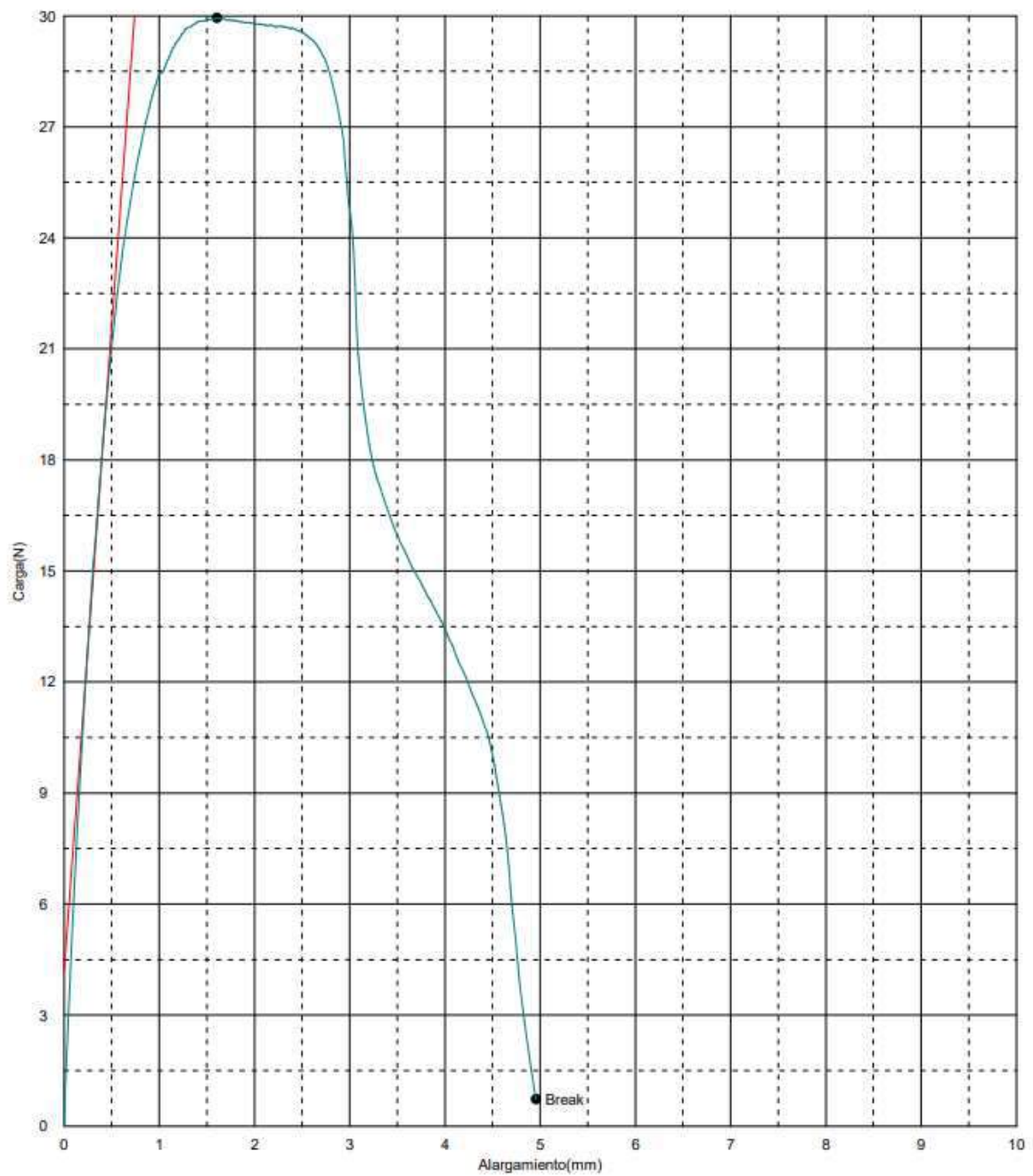


Figura 25. Resultado de la curva del análisis mecánico lámina de bioplástico con 8% de almidón.

9.7 Anexo 7. Resultado de análisis de varianza.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Espesor	15	0,16	0,02	41,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,40	2	0,20	1,14	0,3513
TRATAMIENTOS	0,40	2	0,20	1,14	0,3513
Error	2,10	12	0,18		
Total	2,50	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,70585

Error: 0,1750 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	0,80	5	0,19 A
T2	1,00	5	0,19 A
T1	1,20	5	0,19 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 26. Resultado de ANOVA de espesor del almidón. Sánchez, 2024

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 0	9	0,15	0,00	31,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	2	0,02	0,53	0,6160
TRATAMIENTO	0,04	2	0,02	0,53	0,6160
Error	0,23	6	0,04		
Total	0,27	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,50777

Error: 0,0379 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,53	3	0,11 A
T2	0,66	4	0,10 A
T3	0,69	2	0,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 27. Resultado de ANOVA día 0 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 5	9	0,07	0,00	35,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,21	0,8168
TRATAMIENTO	0,02	2	0,01	0,21	0,8168
Error	0,22	6	0,04		
Total	0,23	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49476

Error: 0,0360 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,49	3	0,11 A
T2	0,55	4	0,09 A
T3	0,61	2	0,13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 28. Resultado de ANOVA día 5 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 10	9	0,10	0,00	36,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,32	0,7358
TRATAMIENTO	0,02	2	0,01	0,32	0,7358
Error	0,19	6	0,03		
Total	0,21	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46829

Error: 0,0323 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,44	3	0,10 A
T2	0,51	4	0,09 A
T3	0,57	2	0,13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 29. Resultado de ANOVA día 10 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 15	9	0,10	0,00	37,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,32	0,7404
TRATAMIENTO	0,02	2	0,01	0,32	0,7404
Error	0,19	6	0,03		
Total	0,21	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46232

Error: 0,0314 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,42	3	0,10 A
T2	0,48	4	0,09 A
T3	0,55	2	0,13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 30. Resultado de ANOVA día 15 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 20	9	0,09	0,00	39,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,30	0,7546
TRATAMIENTO	0,02	2	0,01	0,30	0,7546
Error	0,19	6	0,03		
Total	0,21	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46542

Error: 0,0319 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,40	3	0,10 A
T2	0,46	4	0,09 A
T3	0,53	2	0,13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 31. Resultado de ANOVA día 20 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 25	9	0,09	0,00	41,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	0,30	0,7544
TRATAMIENTO	0,02	2	0,01	0,30	0,7544
Error	0,19	6	0,03		
Total	0,21	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46054

Error: 0,0312 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,38	3	0,10 A
T2	0,44	4	0,09 A
T3	0,50	2	0,12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 32. Resultado de ANOVA día 25 de biodegradabilidad en el suelo. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 0	9	0,23	0,00	29,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	2	0,03	0,88	0,4612
TRATAMIENTO	0,06	2	0,03	0,88	0,4612
Error	0,21	6	0,03		
Total	0,27	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46488

Error: 0,0344 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,53	3	0,11 A
T2	0,61	3	0,11 A
T3	0,73	3	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 33. Resultado de ANOVA día 0 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIA 5	9	0,22	0,00	30,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	2	0,03	0,83	0,4817
TRATAMIENTO	0,06	2	0,03	0,83	0,4817
Error	0,22	6	0,04		
Total	0,28	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,48138

Error: 0,0369 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,53	3	0,11 A
T2	0,67	3	0,11 A
T3	0,72	3	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 34. Resultado de ANOVA día 5 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIA 10	9	0,21	0,00	30,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	2	0,03	0,79	0,4943
TRATAMIENTO	0,05	2	0,03	0,79	0,4943
Error	0,21	6	0,03		
Total	0,26	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46540

Error: 0,0345 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,53	3	0,11 A
T2	0,61	3	0,11 A
T3	0,72	3	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 35. Resultado de ANOVA día 10 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIA 15	9	0,20	0,00	29,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	2	0,03	0,77	0,5032
TRATAMIENTO	0,05	2	0,03	0,77	0,5032
Error	0,21	6	0,03		
Total	0,26	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46345

Error: 0,0342 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,54	3	0,11 A
T2	0,62	3	0,11 A
T3	0,73	3	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 36. Resultado de ANOVA día 15 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIA 20	9	0,17	0,00	29,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	2	0,02	0,62	0,5696
TRATAMIENTO	0,04	2	0,02	0,62	0,5696
Error	0,19	6	0,03		
Total	0,23	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,45063

Error: 0,0324 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,54	3	0,10 A
T2	0,62	3	0,10 A
T3	0,70	3	0,10 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 37. Resultado de ANOVA día 20 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DÍA 25	9	0,19	0,00	29,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	2	0,02	0,69	0,5381
TRATAMIENTO	0,05	2	0,02	0,69	0,5381
Error	0,20	6	0,03		
Total	0,25	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46270

Error: 0,0341 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	0,55	3	0,11 A
T2	0,63	3	0,11 A
T3	0,73	3	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 38. Resultado de ANOVA día 25 de biodegradabilidad en el ambiente. Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ELONGACIÓN MÁXIMA	9	0,09	0,00	33,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,69	2	16,85	0,31	0,7466
TRATAMIENTOS	33,69	2	16,85	0,31	0,7466
Error	329,28	6	54,88		
Total	362,97	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=18,55903

Error: 54,8799 gl: 6

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	20,44	3	4,28 A
T1	20,61	3	4,28 A
T2	24,63	3	4,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 39. Resultado de ANOVA de propiedades de tracción (elongación máxima).

Sánchez, 2024.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ESFUERZO MAXIMO	9	0,40	0,20	50,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	132,11	2	66,06	2,01	0,2150
TRATAMIENTOS	132,11	2	66,06	2,01	0,2150
Error	197,41	6	32,90		
Total	329,52	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,36986

Error: 32,9009 gl: 6

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T2	6,00	3	3,31 A
T3	13,66	3	3,31 A
T1	14,52	3	3,31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 40. Resultado de ANOVA de propiedades de tracción (Esfuerzo máximo). Sánchez, 2024.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Espesor	15	1.00	0.42	0.83	0.0130
0ds	9	0.62	0.18	0.90	0.3395
5ds	9	0.54	0.17	0.93	0.6434
10ds	9	0.50	0.16	0.93	0.5710
15ds	9	0.47	0.16	0.94	0.6781
20ds	9	0.45	0.16	0.94	0.6506
25ds	9	0.43	0.16	0.94	0.7253
0da	9	0.62	0.18	0.90	0.3395
5da	9	0.64	0.19	0.84	0.0887
10da	9	0.62	0.18	0.89	0.3189
15da	9	0.63	0.18	0.88	0.2588
20da	9	0.62	0.17	0.87	0.2101
25da	9	0.64	0.18	0.89	0.2637
P.V	9	0.18	0.10	0.53	<0.0001
E.M	9	21.90	6.74	0.89	0.2969
ESF.M	9	11.40	6.42	0.86	0.1510

Figura 41. Resultados de shapiro-wilks. Sánchez, 2024