

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA)”

AUTOR. Nelly Marisol Tocalema Tisalema

TUTOR: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, PhD.

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA)"**, elaborado por la Srta. Nelly Marisol Tocalema Tisalema, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1850940717, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- El presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2024

.....

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, PhD.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nelly Marisol Tocalema Tisalema, con C.I. 1850940717 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA)",** así también los análisis, procesos, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024

.....

Nelly Marisol Tocalema Tisalema

C.I. 1850940717

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública; además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial; y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2024



.....

Nelly Marisol Tocalema Tisalema

C.I. 1850940717

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Nelly Marisol Tocalema Tisalema de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA)".**

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. María Belén Paredes Robalino, Mg.	**Ing. Pablo Raúl Valle Velasco, PhD.**
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

El presente trabajo técnico va dedicado primeramente a Dios por darme la vida y salud para poder cumplir mis metas.

Lo dedico a mis padres Manuel Tocalema y Elevación Tisalema, por ser mi pilar fundamental de ejemplo y dedicación, porque a lo largo de mis estudios me enseñaron a ser una persona de bien y no me dejaron caer en ningún momento, a mis hermanos Mayra, Raúl, Alfredo y Gustavo, quienes me brindaron su apoyo incondicional. A mis primas y amigas Sara Tocalema y Jazmín Masabanda, quienes confiaron en mí cuando muchos lo dudaron.

A mi abuela Juana Tocalema, mis tías y tíos, quienes no dudaron de mis capacidades, conocimientos y valores, siempre mostraron su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria.

A esa **persona especial** que siempre creyó en mí y se convirtió en un pilar fundamental la mayor parte del proceso, para enfrentar cada desafío y celebrar mis triunfos, me dio la fuerza necesaria para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía y permitirme alcanzar mis objetivos. También expreso mi gratitud a mis padres, Manuel Tocalema y Elevación Tisalema, a mis hermanos Mayra, Raúl, Alfredo y Gustavo, y a todos mis familiares, quienes me brindaron su apoyo incondicional para completar mis estudios universitarios.

Mi agradecimiento a mi tutor, Ing. Juan Paredes, PhD. por su guía, conocimientos y confianza en mí durante todo el proceso. A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Mecánica, por permitirme formar parte de su comunidad. A mis compañeros que creyeron en mí y compartieron momentos de alegría y tristeza. A todos mis docentes, quienes compartieron sus conocimientos, vivencias, sabiduría y experiencias, permitiéndome crecer tanto personal como profesionalmente.

A mis primas Sara Tocalema y Jazmín Masabanda, quienes han sido una fuente constante de apoyo y aliento a lo largo de vida académico. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada logro. Su amistad y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este objetivo.

Finalmente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a esa **persona especial**, por el apoyo incondicional, ha sido fundamental para alcanzar este logro. Gracias por brindarme palabras de aliento en los momentos difíciles y por animarme a no rendirme cuando las cosas no salían bien. Tu presencia me ha dado la fuerza necesaria para superar cada obstáculo. Sin ti, este sueño no habría sido posible. Gracias por estar siempre a mi lado.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL viii
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE FIGURAS xv
RESUMEN EJECUTIVO xvii
ABSTRACT xviii
CAPITULO I 1
MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes investigativos 1
1.2. Justificación 2
1.3. Objetivos 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. Fundamentación teórica 3
1.4.1. Materiales compuestos 3
1.4.2. Materiales poliméricos 7
1.4.3. Material biodegradable 11

1.4.4. Biopolímero 12

1.4.5. Métodos de producción de bioplásticos 14

1.4.6. Biopolímeros extraído directamente de la biomasa 14

1.4.7. Almidón 14

1.4.8. Gelatinización 15

1.4.9. Plastificante 15

1.4.10. Ensayos en materiales 16

1.4.11. Caracterizaciones de polímeros 17

1.4.12. Propiedades físicas y mecánicas en polímeros y biopolímeros 17

1.4.13. Prueba de Biodegradabilidad 18

1.4.14. Descripción de la oca 18

1.4.15. Diseño de experimentos (DOE) 20

CAPITULO II 21

METODOLOGÍA 21

2.1. Materiales 21

2.2. Métodos 24

2.2.1. Método experimental 25

2.2.2. Método descriptivo 25

2.2.3. Método explicativo 26

2.2.4. Método exploratorio 26

2.2.5. Método bibliográfico 26

2.3. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca y biopolímero 26

2.3.1. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca 27

2.3.2. Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero y su caracterización 28

2.3.3. Identificación de variables..... 29

2.4. Determinación de fracciones volumétricas 32

2.4.1. Fracciones volumétricas en gramos 33

2.4.2. Fracciones volumétricas en unidades medibles..... 33

2.5. Procedimiento para la obtención de almidón de la oca 34

2.6. Procedimiento para la obtención del biopolímero y su caracterización 36

2.7. Procedimiento para los ensayos de tracción..... 39

2.8. Procedimiento para pruebas de Biodegradabilidad 40

2.9. Parámetros principales para la realización de ensayos..... 41

2.9.1. Tracción..... 42

2.9.2. Biodegradabilidad 44

CAPITULO III 47

RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 47

3.1. Análisis y discusión de resultados..... 47

3.1.1. Ficha de recolección de datos de ensayos a tracción de bioplásticos..... 47

3.1.2. Ficha de recolección de datos de ensayos de tracción de plásticos comunes..... 77

3.1.3. Ficha de recolección de datos de prueba de biodegradabilidad 92

3.2. Resultados generales de ensayos..... 132

3.2.1. Resultados del ensayo de tracción de los bioplásticos 132

3.2.2. Resultados de pruebas de biodegradabilidad de bioplásticos..... 134

3.3. Comparación entre plásticos comerciales y Bioplástico a partir del almidón de la Oca) 139

3.4. Análisis de optimización de respuestas múltiples DOE- MEZCLAS 143

3.4.1. Análisis del ensayo a tracción 143

3.4.2. Análisis estadístico del módulo de elasticidad 148

3.4.3. Análisis estadístico del porcentaje de elongación 153

3.4.4. Optimización Global 159

CAPITULO IV 161

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 161

4.1. Conclusiones 161

4.2. Recomendaciones 162

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 163

ANEXOS 168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutritiva de la oca 19

Tabla 2. Descripción de materiales, recursos y equipos utilizados. 21

Tabla 3. Identificación de variables. 29

Tabla 4. Operalización de variables independientes. 30

Tabla 5 Operalización de variables dependientes. 31

Tabla 6. Determinación de las fracciones volumétricas. 32

Tabla 7. Fracciones volumétricas en gramos 33

Tabla 8. Fracciones volumétricas con sus unidades correspondientes. 33

Tabla 9. Fracciones volumétricas totales a utilizarse. 34

Tabla 10. Procedimiento para la obtención de almidón de la oca. 34

Tabla 11. Procedimiento para la obtención del biopolímero y su caracterización. 36

Tabla 12. Procedimiento para los ensayos de tracción. 39

Tabla 13. Procedimiento para las pruebas de Biodegradabilidad. 40

Tabla 14. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 1 47

Tabla 15. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 2 50

Tabla 16. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 3 53

Tabla 17. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 4. 56

Tabla 18. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 5. 59

Tabla 19. Ficha técnica del Bioplástico-Mezcla 6. 62

Tabla 20. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 7. 65

Tabla 21. Ficha Técnica del Bioplástico- Mezcla 8. 68

Tabla 22. Ficha técnica del Bioplástico-Mezcla 9. 71

Tabla 23. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 10. 74

Tabla 24. Ficha técnica de funda plástico "TIA". 77

Tabla 25. Ficha Técnica de funda plástico “MI COMISARIATO” 80

Tabla 26. Ficha técnica de funda plástica "EMPROVIT" 83

Tabla 27. Ficha Técnica de funda plástica "MEGAMAXI" 86

Tabla 28. Ficha técnica de la funda plástica "PLASTIBAG". 89

Tabla 29. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 1. 92

Tabla 30. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 2. 96

Tabla 31. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 3. 100

Tabla 32. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 4. 104

Tabla 33. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 5. 108

Tabla 34. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 6. 112

Tabla 35.Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 7. 116

Tabla 36.Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 8. 120

Tabla 37. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 9. 124

Tabla 38. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 10. 128

Tabla 39. Resultados del ensayo a tracción. 132

Tabla 40. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la TIERRA, peso en (g) cada 2 días por 30 días. 134

Tabla 41. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la TIERRA, % de pérdida de peso cada 2 días por 30 días. 135

Tabla 42. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la AIRE, peso en (g) cada 2 días por 30 días. 137

Tabla 43. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la AIRE, % de pérdida de peso cada 2 días por 30 días. 138

Tabla 44. Prueba de igualdad de varianza. 143

Tabla 45. Análisis de varianza del Esfuerzo Máximo a Tracción. 145

Tabla 46. Prueba de igualdad de varianza. 149

Tabla 47. Análisis de varianza de Módulo de Elasticidad. 150

Tabla 48. Prueba de igualdad de varianza. 154

Tabla 49. Análisis de varianza de porcentaje de elongación. 155

Tabla 50. Optimización Global. 160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propiedades de un material compuesto[10]**.** 4

Figura 2. Material compuesto [11]**.** 4

Figura 3. Clasificación de los polisacáridos [17]**.** 8

Figura 4. Estructura de la celulosa[18]**.** 9

Figura 5. Relación de la estructura de la quitina y quitosano [18]**.** 9

Figura 6. Estructura del Almidón y sus componentes [18]**.** 14

Figura 7. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca. 27

Figura 8. Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero y su caracterización. 28

Figura 9. Dimensiones de las probetas para ensayos de tracción en (mm). 42

Figura 10. Probetas para ensayos de tracción. 42

Figura 11. Máquina universal de ensayos WAW600B. 43

Figura 12. Dimensiones de la probeta para prueba de biodegradabilidad en (mm). 45

Figura 13. Probeta para prueba de Biodegradabilidad. 45

Figura 14. Módulo de elasticidad (MPa) de ensayo de tracción de bioplásticos. 132

Figura 15. Porcentaje de elongación (%) de ensayo de tracción de bioplásticos. 133

Figura 16. Esfuerzo máximo (MPa) de ensayo de tracción de bioplásticos. 133

Figura 17. Pérdida de peso en 30 días (% de biodegradabilidad -TIERRA) 136

Figura 18. Pérdida de peso en 30 días (% de biodegradabilidad -AIRE) 139

Figura 19. Comparación de esfuerzo Máximo (MPa) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca. 140

Figura 20. Comparación de Modulo de Elasticidad (MPa) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca. 141

Figura 21. Comparación de Porcentaje de Elongación (%) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca. 142

Figura 22. Grafica de probabilidad del Esfuerzo Máximo a Tracción. 143

Figura 23. Residuo vs orden: Resultados de Esfuerzo Máximo a Tracción..... 144

Figura 24. Grafica de contorno de Mezcla para Esfuerzo Máximo (MPa). 145

Figura 25. Grafica de superficie de mezclas de Esfuerzo máximo (MPa). 146

Figura 26. Grafica de rastreo de respuesta Cox. 147

Figura 27. Optimización de respuesta de Esfuerzo Máximo a Tracción. 148

Figura 28. Grafica de probabilidad del Módulo de Elasticidad. 148

Figura 29. Residuo vs orden: Resultados de Módulo de Elasticidad. 149

Figura 30. Grafica de contorno de Mezcla para Módulo de Elasticidad (MPa)..... 150

Figura 31.Grafica de superficie de mezcla de Modulo de elasticidad (MPa). 151

Figura 32. Grafica de rastreo de respuesta de Cox..... 152

Figura 33. Optimización de respuestas. 153

Figura 34. Grafica de probabilidad de Porcentaje de elongación (%). 154

Figura 35. Residuo vs orden: Resultados de Porcentaje de elongación (%). 155

Figura 36. Grafica de contorno de Porcentaje de Elongación (%). 156

Figura 37. Grafica de superficie de mezcla de Porcentaje de elongación (%). 157

Figura 38. Grafica de rastreo de respuesta Cox. 157

Figura 39. Optimización individual del porcentaje de elongación. 158

Figura 40. Optimización Global. 159

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, los polímeros tradicionales tienen una amplia gama de aplicaciones, especialmente en la industria del empaque, donde se utilizan un número considerable de toneladas al año. No obstante, tienen inconvenientes que es necesario tener en cuenta. Los plásticos comerciales son fabricados utilizando materias primas procedentes de recursos no renovables, como el petróleo, cuya disponibilidad está disminuyendo y su precio aumentando constantemente. Además, persisten en el medio ambiente durante extensos períodos de tiempo, causando grandes problemas ambientales.

Este trabajo se desarrolló en tres etapas esenciales para obtener los resultados óptimos. La primera etapa consistió en la extracción del almidón de la oca, utilizando un extractor de jugos, seguida de la obtención del biopolímero mediante un diseño de experimentos (DOE) por mezcla, a temperatura ambiente y un tiempo de curado de 8 días. La segunda etapa incluyó la caracterización del biopolímero, realizada según la norma ASTM D638 (Tracción), utilizando una máquina universal de ensayos, y la evaluación de la biodegradabilidad conforme a la norma INTE ISO 14855-1, mediante pruebas en tierra y aire. En la tercera etapa, los resultados obtenidos se tabularon y analizaron utilizando un software estadístico. Esto permitió comprobar estadísticamente los supuestos y verificar la significancia del modelo (ANOVA) para identificar el mejor compuesto.

Los resultados mostraron un esfuerzo máximo a tracción de 4.10 MPa, un módulo de elasticidad de 23.86 MPa, una elongación del 5.3 por ciento, en las pruebas de biodegradabilidad, una pérdida de peso del 53.36 por ciento en el aire y del 58.77 por ciento en la tierra.

Palabras clave: Esfuerzo atracción, Módulo de elasticidad, Elongación, Biodegradabilidad, Bioplástico, Biopolímero.

ABSTRACT

Currently, traditional polymers have a wide range of applications, especially in the packaging industry, where a considerable number of tons are used per year. However, they have drawbacks that must be taken into account. Commercial plastics are manufactured using raw materials from non-renewable resources, such as oil, whose availability is decreasing and its price constantly increasing. Furthermore, they persist in the environment for extended periods of time, causing major environmental problems.

This work was developed in three essential stages to obtain optimal results. The first stage consisted of the extraction of goose starch, using a juice extractor, followed by obtaining the biopolymer through a design of experiments (DOE) by mixing, at room temperature and a curing time of 8 days. The second stage included the characterization of the biopolymer, carried out according to the ASTM D638 (Tensile) standard, using a universal testing machine, and the evaluation of biodegradability in accordance with the INTE ISO 14855-1 standard, through ground and air tests. In the third stage, the results obtained were tabulated and analyzed using statistical software. This allowed us to statistically test the assumptions and verify the significance of the model (ANOVA) to identify the best compound.

The results showed a maximum tensile stress of 4.10 MPa, an elastic modulus of 23.86 MPa, an elongation of 5.3 percent, in biodegradability tests, a weight loss of 53.36 percent in air and 58.77 percent in the earth.

Keywords: Stress attraction, Modulus of elasticity, Elongation, Biodegradability, Bioplastic, Biopolymer.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes investigativos

Para la realización de este trabajo de titulación se realizaron investigaciones bibliográficas previas, centradas en la obtención y caracterización de biopolímeros a partir de almidón de productos naturales, las cuales serán de gran utilidad para el desarrollo del trabajo experimental.

Un estudio relevante fue realizado en Medellín, Colombia, por Ruiz Avilés Gladys en 2006, bajo el título "Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". En esta investigación, se obtuvo un biopolímero a partir del almidón de yuca mezclado con plastificantes, glicerina y agua. Las variables controladas fueron la temperatura y la velocidad de rotación del husillo. Se evaluaron diversas características físicas y mecánicas mediante diferentes ensayos, como pruebas de tensión y análisis térmicos, entre otros. Se comprobó que al variar los volúmenes de los componentes, los resultados diferían en aspectos como el espesor y la resistencia. Con una composición de 78% de almidón, 18% de glicerina y 12% de agua, el biopolímero obtenido mostró un buen comportamiento mecánico [1].

La investigación realizada en Medellín, Colombia, por Meneses Juliana, Corrales Catalina y Valencia Marco en 2007, titulada "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca", obtuvo un biopolímero derivado del almidón de yuca. La metodología empleada fue el diseño de experimentos, variando condiciones en diferentes mezclas, como lubricantes, espesantes y plastificantes, para obtener el biopolímero. Este experimento produjo seis muestras con características adecuadas para realizar diversos ensayos y medir sus propiedades mecánicas, químicas, físicas y su biodegradabilidad [2].

La investigación realizada en Lima, Perú, por Alarcón Hugo y Arroyo Edmundo en 2016, titulada "Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa", se centró en evaluar las propiedades mecánicas y químicas de los biopolímeros. El objetivo fue obtener un material con buenas propiedades para reducir el uso excesivo de plásticos. La metodología empleada consistió en modificar el almidón de la papa con ácido acético al 5%, realizando pruebas de tracción y elongación. Como resultado, se

obtuvo un polímero con 38.28% de amilopectina y 61.76% de amilosa. Finalmente, el almidón modificado mostró mejores propiedades en comparación con el almidón natural [3].

La investigación llevada a cabo en Riobamba, Ecuador, por Mora Daniela, López Sandra, Chuiza Marco y Carrera Lourdes en 2022, bajo el título "Obtención de una biopelícula a partir de almidón de melloco rosado (Ullucus tuberosus)", tuvo como objetivo obtener una biopelícula utilizando almidón de melloco rosado. En primer lugar, se extrajo el almidón utilizando el método húmedo. Luego, se procedió a caracterizar el almidón para determinar sus propiedades físicas y químicas. Posteriormente, se evaluaron algunas características de la biopelícula, llegando a la conclusión de que el material obtenido es adecuado para aplicaciones de embalaje, con propiedades apropiadas y una permeabilidad adecuada al vapor de agua [4].

1.2.Justificación

En los últimos años, ha habido un incremento significativo en el consumo de plásticos derivados de fuentes fósiles, lo que ha resultado en un aumento considerable en la producción. Durante el año 2020, a nivel mundial, se estima que se produjeron entre 360 y 370 toneladas métricas de plástico, lo que ha generado graves problemas ambientales. Sin embargo, más del 70% de este plástico producido cada año termina siendo desechado en vertederos y en los océanos. Además, aproximadamente el 12% del plástico es incinerado, lo que causa contaminación ambiental y contribuye al surgimiento de enfermedades [5]. En América Latina, la producción y el consumo de plásticos alcanzan aproximadamente 21 millones de toneladas al año. Se estima que el consumo promedio por habitante al año es de 37 kg. [6].

Durante el período comprendido entre 2018 y 2021, Ecuador produjo un total de 47,596 toneladas de plástico. Además, entre el 30% y el 50% de los plásticos utilizados contienen una mezcla con otros tipos de materiales, lo que dificulta su reciclaje. Aproximadamente el 90% de estos plásticos se deposita en vertederos sin recibir ningún tipo de tratamiento, y se estima que tardan entre 400 y 500 años en degradarse [7].

Dado que el uso generalizado del plástico ha sido una de las principales causas de la contaminación ambiental, ha surgido la necesidad de llevar a cabo numerosos estudios en busca de alternativas de polímeros biodegradables que puedan sustituir al plástico convencional [8]. En la actualidad, el almidón es uno de los biopolímeros naturales más investigados debido a su

abundancia en el entorno y a su bajo costo de obtención. Esto lo convierte en una opción más viable para la producción de bioplásticos, ya que utiliza recursos naturales renovables [4].

Considerando todos los antecedentes sobre la contaminación ambiental mencionados, se presenta una oportunidad para ofrecer una alternativa biodegradable utilizando recursos naturales disponibles en la provincia de Tungurahua. Por lo tanto, la introducción del almidón como material para la producción de polímeros biodegradables es de suma importancia para sustituir los recursos no renovables [1]. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de obtener y caracterizar física-mecánicamente un biopolímero a partir del almidón de la oca (Oxalis Tuberosa), aprovechando los recursos nativos existentes en la provincia de Tungurahua.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Obtener y caracterizar física y mecánicamente un biopolímero a partir del almidón de la oca (Oxalis Tuberosa).

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de obtención del almidón y biopolímero para establecer los diferentes casos de análisis bajo el diseño de experimentos (DOE).
- Caracterizar física y mecánicamente el biopolímero para determinar sus propiedades.
- Analizar los resultados de la caracterización para establecer la composición del mejor comportamiento mecánico.

1.4.Fundamentación teórica

1.4.1. Materiales compuestos

Los materiales compuestos, también conocidos como materiales "composite", se componen de la combinación de dos o más elementos, ya sean naturales o artificiales. Esta combinación tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas o químicas del nuevo material obtenido, superando así las características individuales de los componentes por separado [9].

Los materiales compuestos se caracterizan por estar compuestos de dos fases principales: una matriz continua y un refuerzo disperso, separados por una interfaz. Durante su desarrollo, el objetivo es combinar las propiedades de varios materiales en un solo material. Estos materiales compuestos se crean a partir de la combinación de dos o más materiales, lo que resulta en propiedades que no se encuentran en un material individual.

Las propiedades de un material compuesto se derivan de las propiedades de los materiales que lo componen, influenciadas por su orientación, distribución e interacción. Estas características incluyen:

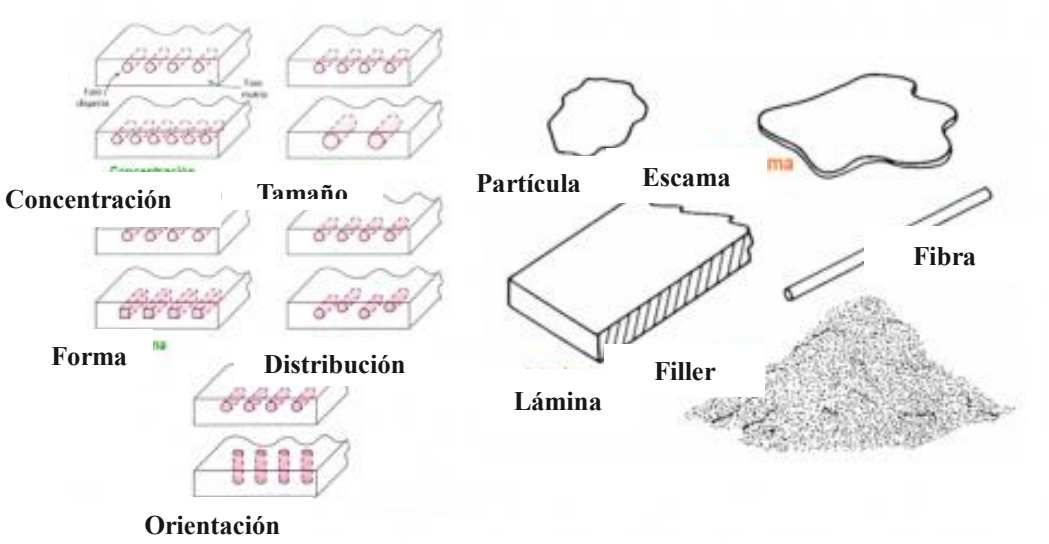


Figura 1. Propiedades de un material compuesto[10].

1.4.1.1.Clasificación de los materiales compuestos

Estos tipos de materiales están conformados en base de la matriz y el refuerzo:

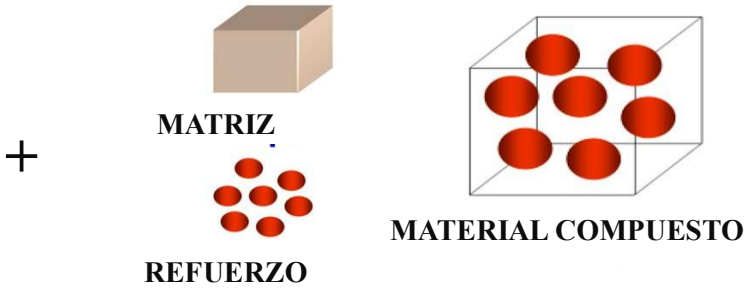


Figura 2. Material compuesto [11].

- **Matriz:** este configura la geometría de la pieza, además, da cohesión por lo general suelen ser flexibles, el material elegido para ser matriz es poco rígido, no es tan resistente en comaración con el material de refuerzo [12].

- **Refuerzo:** son utilizados para incrementar rigidez mecánica y la resistencia a los materiales compuestos, además, son para mejorar el comportamiento la resistencia a la abrasión y el comportamiento a altas temperaturas [12].

1.4.1.2.Materiales compuestos según el tipo de matriz:

Existen tres grupos principales en relación a materiales compuestas según el tipo de matriz, los mismos se indican a continuación:

- Materiales compuestos de matriz metálica (MMC).
- Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC).
- Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC).

Materiales compuestos de matriz metálica (MMC)

En la industria automotriz, se emplean materiales compuestos que comprenden metales ligeros como aluminio (Al), magnesio (Mg) y titanio (Ti). El aluminio es el metal más comúnmente utilizado debido a su bajo costo, resistencia a la degradación ambiental, excelentes propiedades mecánicas, baja densidad y facilidad de manejo [13]. Se clasifican en tres grupos de acuerdo al refuerzo incorporado [14].

- Refuerzos con partículas.
- Refuerzos con fibra continúa.
- Refuerzo con fibra discontinua.

Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC)

Estos materiales representan una innovación reciente con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas, como la resistencia y la tenacidad, en materiales cerámicos, especialmente en rangos de bajas temperaturas. Se dividen en tres categorías según el tipo de refuerzo incorporado [14].

- Refuerzos con partículas.
- Refuerzos con fibra continúa.
- Refuerzo con fibra discontinua.

- Estos materiales son empleados en aplicaciones de alta temperatura y se componen de una matriz cerámica reforzada con fibras cortas de carburo de nitruro, silicio y boro [15].

Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC).

Estos materiales son ampliamente utilizados y se denominan comúnmente polímeros. Están reforzados con fibras naturales o sintéticas, lo que les confiere buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, además de ser fáciles de manipular. A continuación, se presentan los tipos de matrices para los materiales compuestos:

- Resina poliéster.
- Resina epoxi.
- Viniléste.
- Fenólicas.

1.4.1.3.Materiales compuestos según su tipo de refuerzo

Existen diferentes tipos de elementos de refuerzo en estos materiales compuestos, las cuales se presentan a continuación:

- Materiales compuestos endurecidos por dispersión.
- Materiales compuestos reforzados por partículas.
- Materiales compuestos reforzados por fibras.
- Materiales compuestos estructurales.

Materiales compuestos endurecidos por dispersión

Las partículas presentes en estos materiales son de tamaño muy reducido, oscilando entre 100 y 2500 micrómetros de diámetro, y están dispersas dentro de la matriz principal. A temperaturas normales, estos compuestos muestran una resistencia menor en comparación con las aleaciones; además, su resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura [16].

Materiales compuestas reforzados por partículas

Consisten en la dispersión uniforme de partículas de un material duro y frágil dentro de una matriz dúctil y suave. En la mayoría de los materiales compuestos, la fase dispersa es más dura

y resistente que la matriz. Los materiales compuestos reforzados con partículas se dividen en dos categorías: endurecidos por dispersión de partículas pequeñas y de partículas grandes [9].

Materiales compuestas reforzados por fibras

Estos materiales compuestos contienen fibras que poseen una alta resistencia a la tracción, y la matriz suele estar compuesta por resinas que envuelven las fibras. Su objetivo es producir materiales con una resistencia a la rigidez y a la fatiga satisfactoria en una amplia gama de temperaturas. Además, se busca que el material tenga una baja densidad, lo que se traduce en una relación favorable entre resistencia y peso [9].

Materiales compuestas estructurales

Estos compuestos se componen de materiales homogéneos, y sus propiedades no solo dependen de los materiales individuales, sino también de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Se clasifican en estructuras sándwich, estructuras laminadas y no laminadas [16].

1.4.2. Materiales poliméricos

Los compuestos están mayormente constituidos por grupos de moléculas conocidas como monómeros, los cuales se unen a través de enlaces químicos covalentes que se repiten a lo largo de la cadena. Además de ser flexibles, estos materiales también actúan como aislantes tanto térmicos como eléctricos [17].

1.4.2.1. Clasificación de materiales poliméricos según su origen son:

- **Polímeros naturales:** Los polímeros naturales se distinguen por contener monómeros que se originan en sustancias naturales. Estos polímeros resultan de procesos enzimáticos llevados a cabo por organismos vivos, lo que los hace susceptibles a la degradación mediante sistemas biológicos o químicos, haciéndolos completamente biodegradable. Dada la creciente demanda de polímeros y el aumento de la conciencia ambiental a nivel global, los polímeros naturales han despertado el interés de numerosos investigadores. Se pueden clasificar ampliamente en polisacáridos y proteínas derivadas tanto de fuentes animales como vegetales [18]. Estos materiales tienen un origen biológico, lo que significa que no son resultado de la intervención humana, y pueden ser categorizados en diversos tipos [19].

- Polisacáridos
- Polipéptidos
- Polinucleótidos

Polisacáridos: Estos compuestos se generan a partir de la unión de múltiples monosacáridos, que pueden oscilar en cantidad desde 11 hasta varios miles. Sus enlaces se forman mediante enlaces O-glucosídicos, con la liberación de una molécula de agua en cada unión.

Características de los polisacáridos

- Tienen un alto peso molecular.
- Carecen de sabor dulce.
- Pueden ser insolubles o generar dispersiones coloidales.
- No exhiben capacidad reductora.

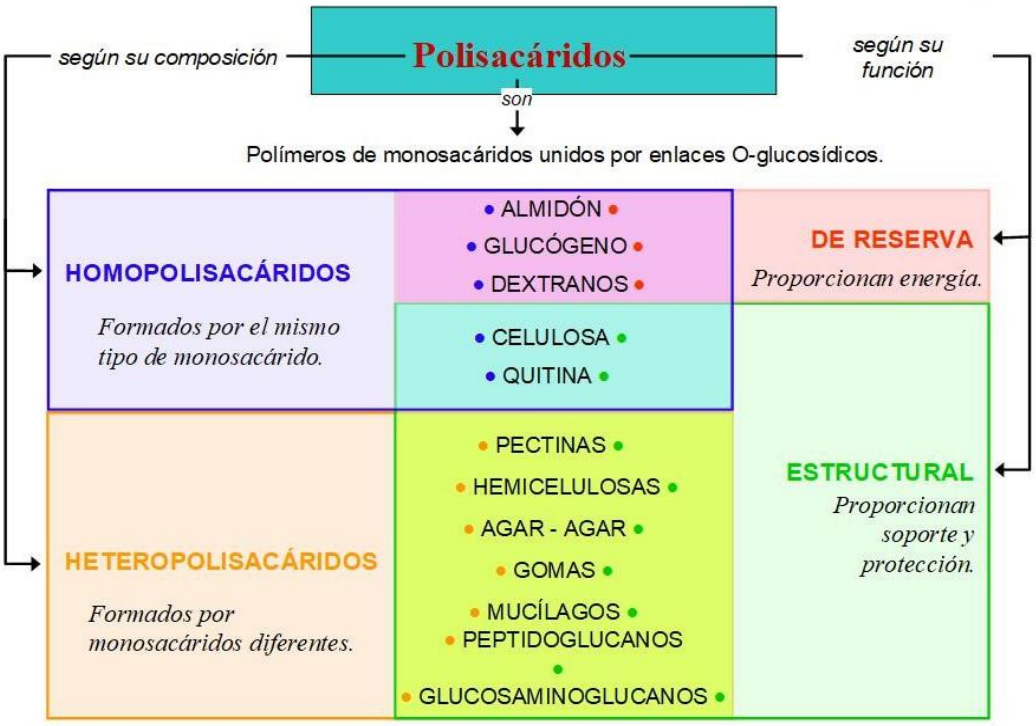


Figura 3. Clasificación de los polisacáridos [17]**.**

Entre los polímeros naturales derivados de polisacáridos se destacan la celulosa, el almidón, la quitina y el quitosano, mientras que entre aquellos derivados de proteínas se incluye el colágeno.

Celulosa: Las plantas producen celulosa como un polisacárido estructural, compuesto exclusivamente por unidades de glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos -1,4-. Este componente se obtiene principalmente de la madera de árboles como el pino o de ciertas plantas herbáceas que tienen un alto contenido de celulosa en sus tallos. El método de extracción más utilizado es el proceso de Kraft [18].

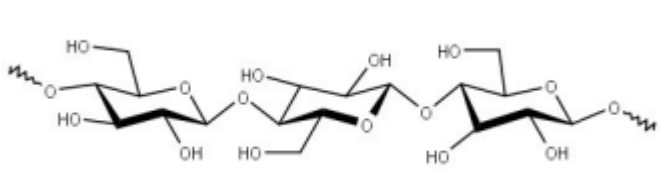


Figura 4. Estructura de la celulosa[18].

Quitina y quitosano: La quitina, un componente esencial en la naturaleza, se posiciona como el segundo polímero más común después de la celulosa. Este polisacárido y copolímero lineal está compuesto por unidades de N-acetilglucosamina y N-glucosamina que se conectan mediante enlaces -1,4. En los organismos, la síntesis de quitina ocurre a partir de glucosa bajo la influencia de enzimas como la quitina sintetasa. Por otro lado, la α-quitina, utilizada comercialmente, se extrae de los exoesqueletos triturados de camarones, langostas y cangrejos.

Tanto el quitosano como la quitina son insolubles en agua debido a su estructura compacta y cristalina, que incluye puentes de hidrógeno tanto intra como intermoleculares. Estos polímeros muestran características notables, como la capacidad para formar películas sin necesidad de aditivos, así como una permeabilidad destacada al oxígeno y al monóxido de carbono, además de exhibir buenas propiedades mecánicas [18].

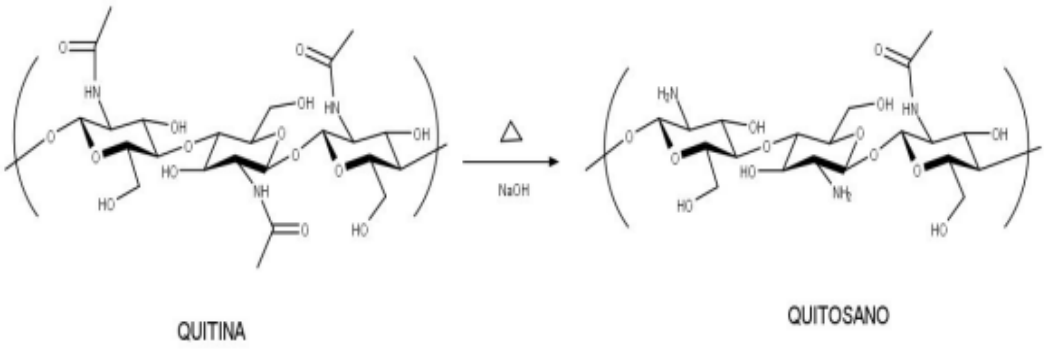


Figura 5. Relación de la estructura de la quitina y quitosano [18].

Colágeno: A diferencia de los biopolímeros mencionados anteriormente, el colágeno consiste en proteínas y tiene una función esencial como el componente principal del tejido conectivo en animales y en el cuerpo humano. Está compuesto por aminoácidos como lisina, prolina,

hidroxiprolina y glicina, y se forma a partir de aminoácidos libres presentes en el organismo [18].

- **Polímeros sintéticos:** La mayoría de los polímeros sintéticos manufacturados son biológicamente inertes, presentan propiedades predecibles y uniformes, y pueden ser diseñados con atributos particulares para satisfacer requisitos específicos en una amplia variedad de aplicaciones, superando así las ventajas ofrecidas por los polímeros naturales. Estos polímeros, que son implantados por el ser humano, pueden ser clasificados en diversos tipos de materiales [19].
  - Elastómeros.
  - Fibras.
  - Plásticos.

Elastómeros: Son sustancias o materiales que presentan la misma elasticidad que el caucho y se utilizan en la fabricación de gomas, tubos o neumáticos, de manera similar al caucho.

Fibras: Son materiales que tienen la capacidad de alinearse para formar filamentos largos y delgados, similar al proceso de hilado. Exhiben una gran resistencia en la dirección de su eje, como se observa en el algodón, la lana y la seda. Principalmente se emplean en la industria textil.

Plásticos: Estos materiales pueden ser moldeados mediante presión, lo que permite su transformación en una variedad de objetos con diferentes formas, o pueden ser utilizados como recubrimientos o capas protectoras en superficies [20].

- **Polímeros semi-sintéticos:** Se originan mediante una mezcla de materias primas tanto naturales como artificiales. Por medio de procesos de polimerización, los monómeros se unen para formar cadenas poliméricas largas. Este tipo de polímeros proporciona la versatilidad para desarrollar materiales con una amplia variedad de propiedades físicas y químicas [19].
  - Nitrocelulosa
  - Caucho vulcanizado - Ebonita

Nitrocelulosa: La nitrocelulosa (NC) es el éster nítrico más ampliamente utilizado a nivel mundial, con aplicaciones que van desde la fabricación de polímeros hasta la elaboración de dinamita, dependiendo de su contenido de nitrógeno. Se obtiene al someter la celulosa a un

proceso de nitración mediante una mezcla sulfúrica. Esta reacción, que es reversible y exotérmica, ocurre de manera extremadamente rápida. El ion nitronio juega un papel crucial en la alta tasa de nitración en este proceso. En la producción industrial de nitrocelulosa, se emplean ácidos nítricos y sulfúricos altamente concentrados en múltiples etapas [21].

Caucho vulcanizado - Ebonita: La ebonita, uno de los primeros polímeros descubiertos, se produce mediante la vulcanización del caucho puro con azufre en una proporción que oscila entre el 25% y el 50%. Su nombre proviene del ébano, al que puede sustituir en diversas aplicaciones debido a sus propiedades. Este polímero es sólido, de color negro y tiene una alta densidad, y puede ser trabajado mediante técnicas de mecanizado como el arranque de viruta [22].

Existen dos tipos de caucho vulcanizado:

Fibra: Estas fibras desempeñan una función crucial en la estructura, siendo responsables principalmente de las características de resistencia mecánica y térmica en las láminas comprimidas.

Gránulo: El caucho reciclado en forma de diminutos gránulos se logra mediante diversos procesos, como el recapado, la trituración a temperatura ambiente y la trituración criogénica.

1.4.3. Material biodegradable

Un material biodegradable se caracteriza por su capacidad para descomponerse mediante la acción de microorganismos como hongos o bacterias, sin dejar residuos tóxicos, como gases o elementos químicos, en el entorno. Al degradarse, este tipo de material contribuye a reducir la acumulación de desechos, lo que ayuda a prevenir la contaminación ambiental [23].

Características de un material biodegradable

- **Origen natural:** Generalmente los materiales biodegradables se originan de fuentes naturales, como plantas, animales, algas o microorganismos. Estos materiales en su mayoría son renovables y se pueden volver a regenerar.

- **Descomposición ambiental:** Se desintegra en elementos básicos, tales como agua, dióxido de carbono, sustancias orgánicas o biomasa, a través de procesos naturales como la oxidación, la hidrólisis o la acción de enzimas.
- **No tóxicos:** No emiten compuestos tóxicos o dañinos para el entorno durante su descomposición.
- **Compatibilidad con el suelo:** Varios materiales biodegradables pueden integrarse al suelo y contribuir a su mejora estructural y fertilidad a medida que se desintegran, sin generar residuos perjudiciales.
- **Baja persistencia:** Su duración es limitada y experimentan un proceso de descomposición relativamente veloz en contraste con los materiales no biodegradables, lo que contribuye a mitigar la acumulación de desechos.
- **Variedad de aplicaciones:** Los materiales biodegradables tienen una amplia variedad de usos, que van desde envases de alimentos y bolsas de compras hasta dispositivos médicos y productos de higiene personal.
- **Regulaciones y estándares:** En varios países, se establecen normativas y criterios que determinan qué características debe tener un material para considerarse biodegradable, además de establecer los estándares necesarios para su certificación [24].

1.4.4. Biopolímero

Los biopolímeros también se conocen como polímeros biobasados, igualmente son materiales plásticos, la diferencia está en que estos tipos de materiales son obtenidos de recursos renovables y naturales. Los más conocidos provienen de residuos agrícolas, almidón o celulosa de algún producto [25].

Características de los biopolímeros

- Estos materiales provienen de fuentes naturales, por ello disminuyen la dependencia de los materiales fósiles, por ende, reducen de manera considerable las emisión de gases de efecto invernadero.
- Muchos biopolímeros son biodegradables aunque no son en totalidad, es decir, que este al finalizar su vida útil se descompone totalmente.

- Los biopolímeros son valorados, porque conservan algunas propiedades de los mismos plásticos, es decir, son maleables, resistentes, higiénicos, versátiles y son muy flexibles [26].

1.4.4.1. Polímeros biodegradables

El polímero biodegradable es una medida tomada para la reducción de impactos por los compuestos que causan al medio ambiente. Para llegar a este resultado, estos materiales están hechas de materias primas de fuentes naturales renovables.

Ventajas de polímeros biodegradables

- La descomposición suele ocurrir en un lapso aproximado de entre 1 y 6 meses.
- Algunos son termoplásticos y comparten propiedades con los plásticos convencionales derivados del petróleo.
- Pueden descomponerse por completo gracias a la acción de microorganismos, produciendo principalmente oxígeno y agua como productos de descomposición.
- Suelen fabricarse a partir de fuentes renovables.
- Se emplean materiales agrícolas como fuente de carbono en su producción.
- La fabricación de bioplásticos ayuda a reducir la necesidad de deforestación.
- Los polímeros biodegradables no generan residuos tóxicos [18].

Desventajas de polímeros biodegradables

- A temperatura ambiente, estos materiales tienden a ser inestables y su peso molecular tiende a disminuir con el tiempo debido a la hidrólisis, que resulta de la humedad presente en el entorno durante su fabricación o almacenamiento, la cual penetra a través del empaque.
- El costo de producción y fabricación, por lo general, se estima un 20% más alto que el de los plásticos convencionales obtenidos del petróleo.
- La producción comercial de estos materiales suele ser menos predecible debido a la dificultad para controlar su peso molecular y estructura. Además, presentan una mayor viscosidad y tienen la tendencia a interactuar con iones multivalentes, lo que puede provocar la formación no deseada de geles o precipitados, lo que limita su uso en diversas áreas [18].

1.4.5. Métodos de producción de bioplásticos

Los métodos de producción de bioplásticos se pueden dividir en cinco grupos principales según el origen de la materia prima y la correspondiente tecnología de producción de polímeros [27].

1. Extraído directamente de biomasa.
2. Producidos por organismos naturales o genéticamente modificados.
3. Sintetizado a partir de monómeros de origen biológico.
4. Sintetizado a partir de petroquímicos.
5. Producido combinando tecnologías y polímeros mencionados anteriormente.

1.4.6. Biopolímeros extraído directamente de la biomasa

A partir de la biomasa, se pueden producir bioplásticos utilizando biopolímeros naturales como los polisacáridos (como almidón y celulosa) y proteínas. En la industria, se prefiere utilizar principalmente biomasa como lignocelulosa y almidón debido a su naturaleza renovable y su costo reducido, lo que impulsa su rápida adopción. No obstante, la mayoría de los bioplásticos derivados de la biomasa necesitan aditivos o la mezcla con otros polímeros para mejorar sus propiedades [28].

1.4.7. Almidón

El almidón, otro polisacárido ampliamente utilizado, se obtiene principalmente del maíz, trigo y papa. Su composición varía, con alrededor del 20-30% de amilosa y 70-80% de amilopectina, dependiendo de la fuente específica de almidón. Se caracteriza por tener capas internas de amilosa y capas externas de amilopectina. Los gránulos de almidón se organizan en capas y muestran propiedades hidrofílicas [18].

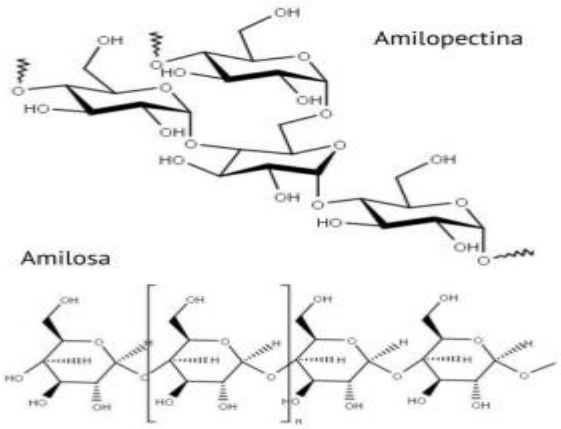


Figura 6. Estructura del Almidón y sus componentes [18].

- **Amilosa**

La amilosa, un polímero lineal de glucosa unida por enlaces α (1-4) con la opción de α (1-6), no se disuelve en agua. Sin embargo, su capacidad para formar estructuras helicoidales mediante enlaces de hidrógeno entre moléculas adyacentes da lugar a micelas hidratadas. Esta disposición puede generar un color azul al reaccionar con el yodo y crear un complejo [29].

- **Amilopectina**

La amilopectina, que es un polisacárido ramificado compuesto principalmente de enlaces α (1-4) entre las unidades de glucosa (94-96%), con una proporción menor de enlaces α (1-6) (4-6%), presenta ramificaciones aproximadamente cada 15-25 unidades de glucosa. Es parcialmente soluble en agua caliente y al reaccionar con yodo puede generar un tono rojizo violeta [29].

1.4.8. Gelatinización

La gelatinización sucede cuando el gránulo de almidón, expuesto al agua y calentado a temperaturas elevadas, pierde su estructura semi-cristalina. Este fenómeno conlleva a un incremento en el volumen del almidón debido a la ruptura de su organización molecular. La temperatura de gelatinización depende del tipo de almidón y de la concentración de la mezcla de agua y almidón [30].

1.4.9. Plastificante

Conforme a la normativa (ASTM D-883), un plastificante es un aditivo que se añade a un material plástico con el fin de facilitar su manipulación y mejorar su flexibilidad o capacidad de deformación. La adición de un plastificante puede conllevar una disminución en la viscosidad cuando el plástico está fundido, así como en el módulo de elasticidad y en la temperatura de transición vítrea del material. La temperatura de transición vítrea (Tg) indica el punto en el que un polímero cambia de un estado rígido a uno flexible; por encima de esta temperatura, la movilidad molecular aumenta y la viscosidad del material disminuye [31].

Glicerina

Se trata de un compuesto alcohólico que posee tres grupos hidroxilo (OH), lo que le otorga solubilidad en agua y no representa riesgos para la salud. Su fórmula molecular es $C_3H_8O_3$.

Presenta una apariencia líquida, incolora y viscosa, y se utiliza frecuentemente como lubricante. En varios estudios sobre la producción de termoplásticos a partir de almidón, los plastificantes más utilizados son la glicerina y el agua destilada. La glicerina, al ser hidrofílica, aumenta la permeabilidad al vapor del producto final al formar enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua de manera fácil [32].

Agua destilada

Está constituido por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, con una fórmula molecular de H_2O y un pH de 5,8. Después de un proceso de destilación para eliminar impurezas e iones, este líquido alcanza una pureza ideal para su aplicación en diversas áreas, incluyendo la industria, hospitales y laboratorios, donde se utiliza como disolvente o reactivo químico, además de su uso común en hogares. El agua destilada es ampliamente conocida por su uso como plastificante en la descomposición del almidón para mejorar la eficacia del producto final. Representa una opción de plastificante de origen natural y económico [33].

Ácido acético

Es un ácido orgánico formado por dos átomos de carbono, reconocido por su grupo carboxilo que le otorga propiedades ácidas. Este líquido, transparente y con un aroma característico a vinagre, tiene una fórmula química de $C_2H_4O_2$ y puede disolverse en agua. En la fabricación de bioplásticos, el ácido acético se utiliza como un aditivo para evitar el crecimiento de microorganismos [34].

1.4.10. Ensayos en materiales

Los materiales poliméricos se manifiestan de dos maneras: cauchos y plásticos, estos antes de salir los mercados son sometidos a diferentes ensayos, los mismos determinan sus propiedades y garantizan su fiabilidad en sus usos. Mediante la realización de ensayos se pueden determinar:

- Determinar propiedades al momento de seleccionar material o fabricar diferentes productos.
- Definir especificaciones de productos y sus procesos.
- Realizar control de calidad [35].

1.4.11. Caracterizaciones de polímeros

La caracterización de los polímeros permite optimizar los procesos de elaboración para poder disponer de mejores propiedades materiales y productos. Para la caracterización comprende de diferentes métodos y técnicas:

- Composición química forma y tamaño.
- Pesos moleculares y distribuciones.
- Orden en estado sólido.
- Comportamiento térmico [36].
- Características de los biopolímeros

1.4.12. Propiedades físicas y mecánicas en polímeros y biopolímeros

Para evaluar las propiedades mecánicas de un biopolímero, es imprescindible realizar pruebas o ensayos de rendimiento utilizando una máquina ensayadora universal o específica para cada tipo de prueba. Es esencial cumplir con las normativas que especifican los parámetros del ensayo, como las dimensiones de las muestras, la velocidad de ensayo, la distancia de sujeción, entre otros criterios. Estas normativas han sido elaboradas y revisadas por organismos como la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), y sirven como referencia para los ensayos de tracción.

1.4.12.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los polímeros dependen de su estructura y se pueden medir y observar.

Algunas de estas propiedades son:

- Forma
- Masa
- Densidad
- Punto de fusión
- Solubilidad o resistencia química.

1.4.12.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son relacionadas con el procedimiento de un polímero frente a diversos técnicas mecánicos. Son las que refieren el procedimiento de un material ante las fuerzas que son aplicadas.

Las principales propiedades mecánicas:

- Resistencia.
- Rigidez.
- Dureza.
- Tenacidad [36].

1.4.13. Prueba de Biodegradabilidad

Los bioplásticos necesitan descomponerse mediante la acción biológica, que involucra la interacción de microorganismos presentes en su entorno natural, ya sea en el suelo, cuerpos de agua o compost. Este proceso genera energía, biomasa, agua, dióxido de carbono o metano como productos. Si el polímero se descompone, puede ser considerado compostable [37].

1.4.14. Descripción de la oca

La oca es un tubérculo andino nativo del sur del Perú, que se cultiva en elevaciones que van desde los 3200 hasta los 3900 metros sobre el nivel del mar. Contiene proteínas, carbohidratos y es especialmente rico en vitamina C. Suele consumirse cocido y tiene un sabor dulce muy agradable, sobre todo cuando se deja madurar al sol [38].

Tabla 1. Composición nutritiva de la oca

	Oca fresca	Kaya
Energía (kcal)	61	325
Agua (%)	84.1	15.3
Proteína (g)	1	4.3
Carbohidratos (g)	13.3	75.4
Ceniza (g)	1	3.9
Calcio (mg)	2	52
Fosforo (mg)	36	171
Hierra (mg)	1.6	9.9
Vitamina C (mg)	38.4	2.4

Fuente:.[38]

Almidón de la Oca

El almidón obtenido de la oca produce una pasta que se distingue por su opacidad (13.2% de transmitancia), a diferencia de las pastas elaboradas con almidón de papa (96% de transmitancia) y trigo (71% de transmitancia). Los gránulos de almidón de la oca tienen principalmente una forma ovalada, con superficies lisas y uniformes. Por lo tanto, la oca se posiciona como una valiosa fuente de almidón que requiere una cantidad mínima de energía para generar una pasta viscosa. Esta particularidad, sumada a su capacidad de solubilidad y otras propiedades reológicas y morfológicas, la convierten en un material con un gran potencial para su utilización en la creación de diversos productos [39].

Caracterización fisicoquímica y estructural de los almidones nativos

- Contenido de amilosa
- Contenido de humedad
- Densidad
- Determinación de pH

1.4.15. Diseño de experimentos (DOE)

Los modelos matemáticos y el diseño de experimentos se utilizan con frecuencia para prever las condiciones óptimas de un proceso. El diseño de experimentos (DOE) es una metodología robusta que puede aplicarse a una variedad de problemas de ingeniería. El trabajo experimental habitual requiere un gran número de corridas experimentales en cada etapa para obtener conclusiones precisas y optimizar los parámetros involucrados [40]. El objetivo principal del diseño de experimentos es maximizar los resultados obtenidos a partir de los datos, al mismo tiempo que se minimiza el número de experimentos necesarios [41].

Los estudios realizados para examinar parámetros de fabricación destacan la versatilidad y el bajo costo de utilizar un diseño de experimentos en el análisis. Por ejemplo, se han utilizado resultados de experimentos de mecanizado para identificar los factores que influyen en la rugosidad de la superficie, empleando el método Taguchi [42]**.** La metodología de Diseño de Experimentos (DOE) es muy útil para caracterizar nuevos materiales. Por ejemplo, se ha empleado DOE para determinar el número de experimentos necesarios y las variaciones en las condiciones de entrada para evaluar la resistencia a la soldadura de juntas. Además, al combinar DOE con el análisis de la varianza, se puede desarrollar un modelo que permite producir materiales compuestos con las propiedades finales deseadas [43].

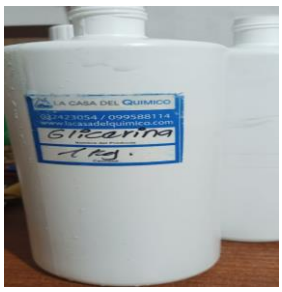
CAPITULO II

METODOLOGÍA

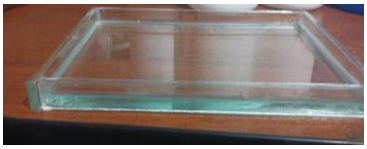
2.1. Materiales

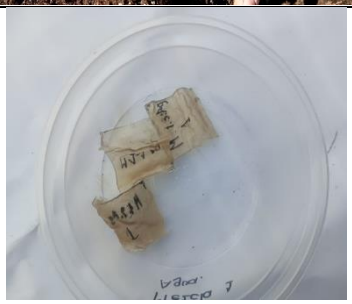
A continuación en la Tabla 2, se detalla todos los materiales, recursos y equipos para el desarrollo del presente trabajo experimental.

Tabla 2. Descripción de materiales, recursos y equipos utilizados.

Denominación	Descripción	Ilustración
Oca	Tubérculo cultivado en la sierra ecuatoriana.	
Agua destilada	Sustancia compuesta por H_2O que lleva un proceso de destilación, eliminando las impurezas e iones del agua.	
Glicerina	Compuesto orgánico a partir del alcohol de azúcar y grasa naturales, sirve como plastificante.	
Ácido acético	Utilizado como lubricante externo.	

Balanza electrónica	Permite calcular el peso de los materiales.	
Plancha de agitación con calentamiento	Permite calentar los componentes y mezclar las mismas.	
Agitador magnético	Mezcla todos los componentes con la ayuda de la plancha de calentamiento.	
Vasos de precipitación	Utilizado para medir los componentes líquidos.	
Máquina universal de ensayos-WAW600B	Utilizado para la realización de ensayos a tracción de las probetas obtenidas.	

Moldes de vidrio	Utilizados para colocar las mezclas de componentes obtenidas.	
Espátula	Ayuda a poder verter la mezcla de los vasos de precipitación a los moldes de vidrio.	
Termómetro	Utilizado para medir la temperatura de la mezcla.	
Cortadora láser	Ayuda a cortar las dimensiones requeridas de las probetas.	
Jeringas	Ayuda a medir los volúmenes pequeños de los componentes.	

Extractor de jugos	Utilizado para extraer el zumo de la oca, posteriormente obtención del almidón	
Recipientes	Utilizado para secar el almidón de la oca.	
Tierra compost	Tierra compost para la prueba de biodegradabilidad	
Tarrinas transparentes	Utilizado para pruebas de biodegradabilidad.	

Fuente: [Autor].

2.2. Métodos

Se emplearon los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, así como los laboratorios de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato para la obtención del biopolímero a partir del almidón de la oca y la realización de los ensayos destinados a determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Además, para los ensayos de tracción se recurrió al laboratorio LenMaV ubicado en Riobamba, Ecuador. Estos laboratorios están debidamente equipados para llevar a cabo ensayos de tracción y disponen de todos los equipos necesarios para llevar a cabo las prácticas experimentales.

2.2.1. Método experimental

El tipo de investigación llevada a cabo en este estudio fue un diseño experimental, en el cual se analizaron y caracterizaron diversos casos propuestos mediante el Diseño de Experimentos por mezclas (DOE). Este enfoque permitió establecer un procedimiento viable para la obtención del biopolímero a partir del almidón de la oca, así como para la caracterización del biopolímero a través de una serie de ensayos hasta obtener las características aceptables.

El desarrollo de esta investigación se dividió en tres etapas: en la primera etapa, se centró en la obtención del almidón de la oca, utilizando un extractor de jugos para obtener el zumo de la oca, que luego se dejó reposar para que el almidón se concentrara en el fondo del recipiente. Posteriormente, se decantó y se dejó secar durante un tiempo determinado. A continuación, se procedió a obtener el biopolímero mediante la mezcla del almidón de la oca con glicerina, ácido acético y agua destilada, variando las fracciones volumétricas utilizando el diseño de experimentos por mezclas (DOE) para evaluar el mejor comportamiento mecánico. Estos procesos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

La segunda etapa consistió en la obtención de probetas para la caracterización del biopolímero y la determinación de sus propiedades mecánicas y físicas. Estas pruebas se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, utilizando diferentes equipos, como una cortadora láser para dimensionar las probetas. Los ensayos de tracción se llevaron a cabo de acuerdo con la norma ASTM D638, que es aplicable a los ensayos de tracción de plásticos. Para los ensayos de biodegradabilidad, se utilizó la norma INTE ISO 14855-1, siguiendo los parámetros establecidos por esta normativa.

En la última etapa, se realizó un análisis de los diferentes casos presentados con el objetivo de determinar la mejor composición mecánica de los polímeros.

2.2.2. Método descriptivo

Este estudio emplea un enfoque descriptivo para observar y evaluar el comportamiento del material resultante mediante la variación de las fracciones volumétricas entre el almidón y los demás componentes. El propósito es describir las propiedades y el origen de cada componente, mezcla y probeta obtenida.

2.2.3. Método explicativo

Este estudio también posee un carácter explicativo, ya que, tras la realización de las probetas y ensayos, los resultados obtenidos permiten ofrecer una explicación detallada sobre los mismos. Se presentan los valores de cada prueba, las propiedades obtenidas y se muestran los gráficos correspondientes para ilustrar los hallazgos.

2.2.4. Método exploratorio

Dado que el tema seleccionado ha sido escasamente explorado a nivel nacional y ha despertado un considerable interés desde la perspectiva medioambiental, con el objetivo de encontrar alternativas para sustituir los plásticos convencionales, se están explorando nuevas metodologías para la obtención de bioplásticos. Esta investigación se considera también exploratoria debido a la búsqueda de nuevas formas de obtener este nuevo material.

2.2.5. Método bibliográfico

Finalmente, el método de investigación involucra la utilización de diversas fuentes bibliográficas, tales como revistas, libros, tesis, publicaciones y artículos científicos, entre otros recursos bibliográficos. Estos recursos se emplean para facilitar la obtención y la caracterización físico-mecánica de un biopolímero derivado del almidón de la oca, con el objetivo de obtener resultados adecuados.

2.3. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca y biopolímero

A continuación se muestran diagramas para la obtención del almidón, seguidamente la obtención de biopolímero y sus ensayos.

2.3.1. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca

A continuación en la Figura 7, se presenta los pasos que se debe seguir para la obtención del almidón de la oca, mediante un diagrama de flujo.

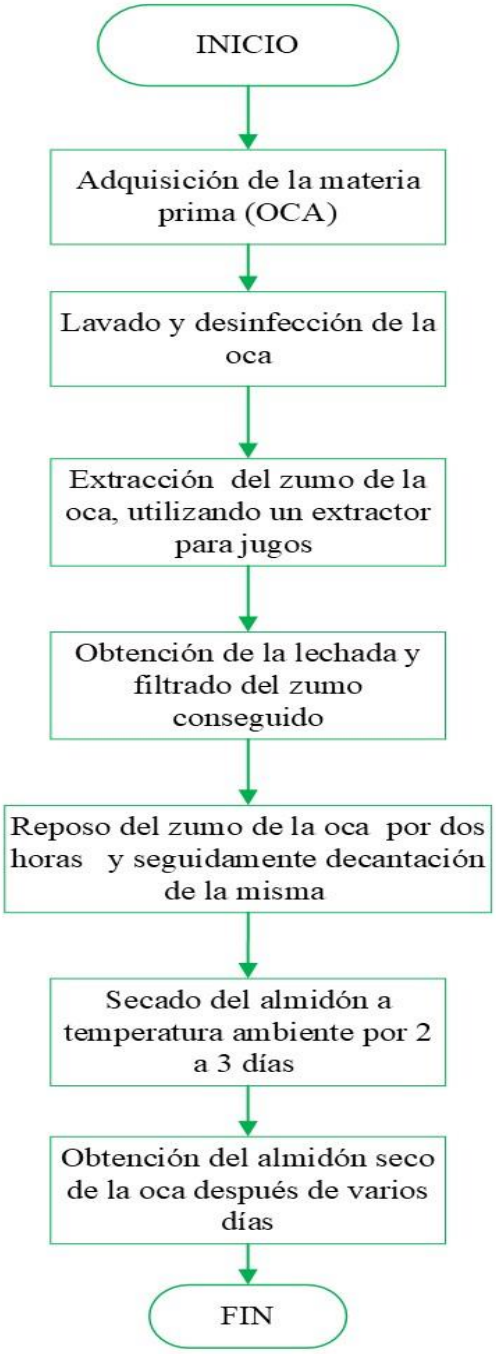


Figura 7. Diagrama de flujo para la obtención del almidón de la oca.

Fuente: [Autor].

2.3.2. Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero y su caracterización

En la figura 8 se presenta las actividades que se deben desarrollar para la obtención del biopolímero a partir del almidón de la oca.

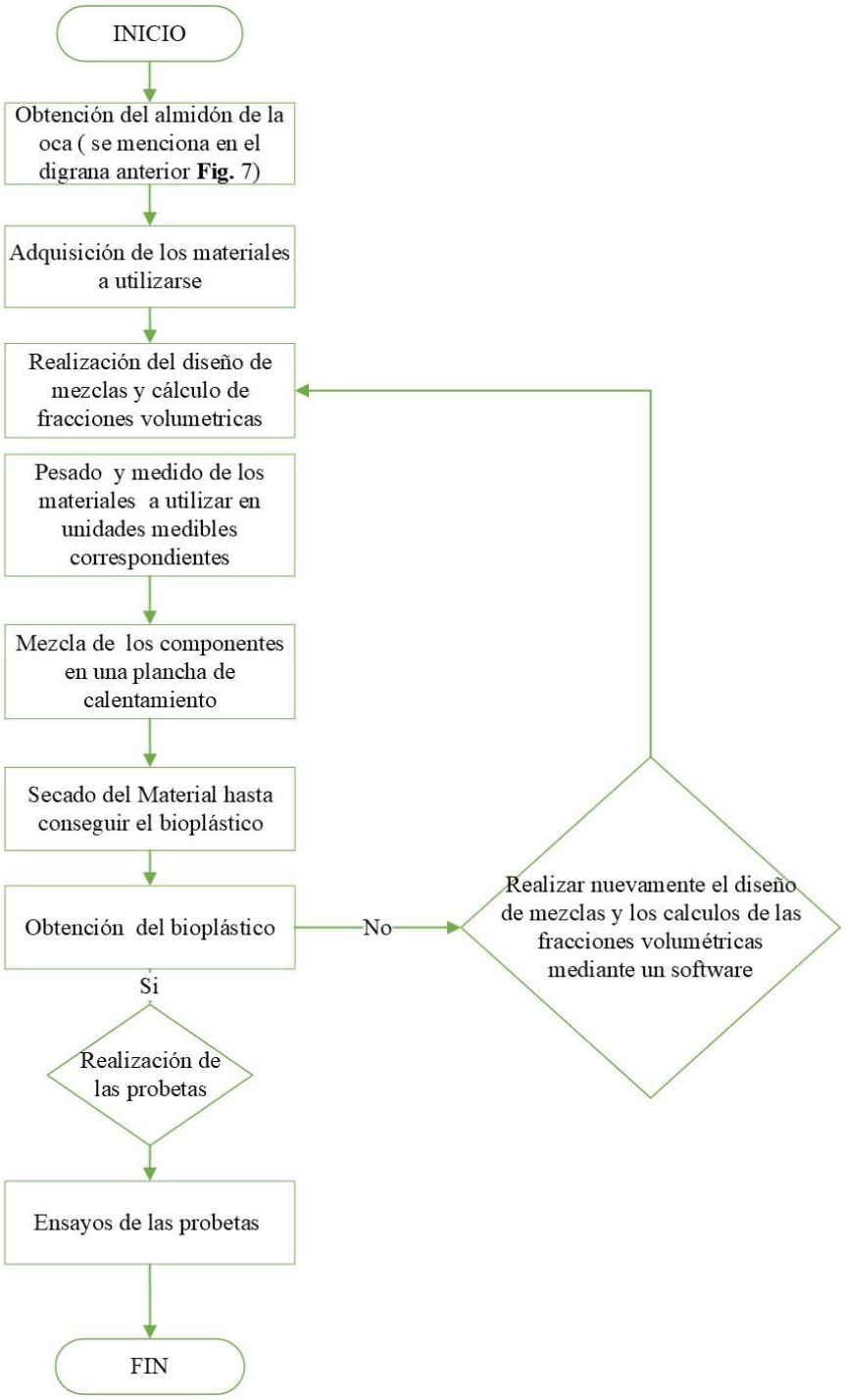


Figura 8. Diagrama de flujo para la obtención del biopolímero y su caracterización.

Fuente: [Autor].

2.3.3. Identificación de variables

A continuación la Tabla 3, detalla los variables identificados.

Tabla 3. Identificación de variables.

Variable independiente	Variable dependiente
Obtención del almidón	
Cantidad de materia prima	Cantidad de almidón
Tiempo	
Revolución del triturado (RPM)	
Obtención del biopolímero	
Formulación para la obtención del biopolímero	Propiedades mecánicas
	Biodegradabilidad

Fuente: [Autor].

2.3.3.1. Variable independiente

Tabla 4. Operalización de variables independientes.

Tipo de variable	Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentación
Independiente	El almidón, también conocido como fécula, es una macromolécula constituida por dos polímeros diferentes de glucosa: la amilosa y la amilopectina.	Almidón de oca	Fracciones volumétricas	Cantidad de oca (g)	• Observación directa • Ficha técnica • Norma ASTM • INTE ISO • Bibliografía
				Tiempo (s)	
				Cantidad de almidón (g)	
	Los bioplásticos son plásticos y refuerzos obtenidos de fuentes naturales renovables, tales como los residuos agrícolas, almidón y la celulosa, entre otros.	Bioplástico		Cantidad de agua destilada (ml)	
				Cantidad de glicerina (ml)	
				Cantidad de ácido acético (ml)	

Fuente: [Autor].

2.3.3.2. Variable dependiente

Tabla 5 Operalización de variables dependientes.

Tipo de variable	Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentación
Independiente	Las propiedades mecánicas de un material, que describen su resistencia y comportamiento frente a fuerzas externas, pueden medirse mediante pruebas específicas siguiendo normas establecidas. Estas pruebas proporcionan información sobre el comportamiento del material al aplicarle una carga durante un periodo de tiempo determinado.	Ensayo de tracción	Esfuerzo máximo (MPa)	¿Qué esfuerzo máximo se obtendrá?	• Observación directa • Ficha técnica • Norma ASTM • INTE ISO • Bibliografía
			Módulo de elasticidad (MPa)	¿Qué módulo de elasticidad obtendrá?	
			Porcentaje de elongación (%)	¿Qué porcentaje de elongación obtendrá?	
	La Biodegradabilidad es la capacidad de un material para degradarse naturalmente mediante la acción biológica, lo que usualmente lleva a la pérdida de sus propiedades iniciales.	Prueba de Biodegradabilidad	Biodegradabilidad (%)	¿Qué porcentaje se biodegradará?	

Fuente: [Autor].

2.4. Determinación de fracciones volumétricas

En la siguiente Tabla 6, que se presenta a continuación se presenta la determinación de las fracciones volumétricas, los porcentajes que se van a utilizarse variables y constante.

Tabla 6. Determinación de las fracciones volumétricas.

	Codificación Software			Variables			Constantes				
	Almidón	**Glicerina**	**Ac. Acético**	**Almidón [%]**	**Glicerina [%]**	**Ac. Acético [%]**	**Agua [%]**	**Almidón [%]**	**Glicerina [%]**	**Ac. Acético [%]**	**Total [%]**
1	0.67	0.17	0.17	2.67%	0.67%	0.67%	84%	8%	3%	1%	100%
2	0.33	0.33	0.33	1.33%	1.33%	1.33%	84%	8%	3%	1%	100%
3	0.5	0	0.5	2.00%	0.00%	2.00%	84%	8%	3%	1%	100%
4	0	0.5	0.5	0.00%	2.00%	2.00%	84%	8%	3%	1%	100%
5	0	1	0	0.00%	4.00%	0.00%	84%	8%	3%	1%	100%
6	1	0	0	4.00%	0.00%	0.00%	84%	8%	3%	1%	100%
7	0.17	0.17	0.67	0.67%	0.67%	2.67%	84%	8%	3%	1%	100%
8	0.5	0.5	0	2.00%	2.00%	0.00%	84%	8%	3%	1%	100%
9	0	0	1	0.00%	0.00%	4.00%	84%	8%	3%	1%	100%
10	0.17	0.67	0.17	0.67%	2.67%	0.67%	84%	8%	3%	1%	100%

Fuente: [Autor].

2.4.1. Fracciones volumétricas en gramos

A continuación se presenta la Tabla 7, se detallan las fracciones volumétricas en gramos (g).

Tabla 7. Fracciones volumétricas en gramos

	Variables			Constantes				
	Almidón [g]	**Glicerina [g]**	**Ac. Acético [g]**	**Agua [g]**	**Almidón [g]**	**Glicerina [g]**	**Ac. Acético [g]**	**Total [g]**
1	4.76	1.19	1.19	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
2	2.38	2.38	2.38	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
3	3.57	0.00	3.57	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
4	0.00	3.57	3.57	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
5	0.00	7.14	0.00	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
6	7.14	0.00	0.00	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
7	1.19	1.19	4.76	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
8	3.57	3.57	0.00	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
9	0.00	0.00	7.14	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57
10	1.19	4.76	1.19	150.00	14.29	5.36	1.79	178.57

Fuente: [Autor].

2.4.2. Fracciones volumétricas en unidades medibles

A continuación se presenta la Tabla 8, de la determinación de las fracciones volumétricas con sus unidades correspondientes.

Tabla 8. Fracciones volumétricas con sus unidades correspondientes.

Variables			Constantes			
Almidón [g]	**Glicerina [ml]**	**Ac. Acético [ml]**	**Agua [ml]**	**Almidón [g]**	**Glicerina [ml]**	**Ac. Acético [ml]**
4.76	0.94	1.13	150.00	14.29	4.25	1.70
2.38	1.89	2.27	150.00	14.29	4.25	1.70
3.57	0.00	3.40	150.00	14.29	4.25	1.70
0.00	2.83	3.40	150.00	14.29	4.25	1.70
0.00	5.67	0.00	150.00	14.29	4.25	1.70
7.14	0.00	0.00	150.00	14.29	4.25	1.70
1.19	0.94	4.54	150.00	14.29	4.25	1.70
3.57	2.83	0.00	150.00	14.29	4.25	1.70
0.00	0.00	6.80	150.00	14.29	4.25	1.70
1.19	3.78	1.13	150.00	14.29	4.25	1.70

Fuente: [Autor].

En la siguiente Tabla 9, se presentan los valores totales que van a ser utilizadas para la obtención del biopolímero:

Tabla 9. Fracciones volumétricas totales a utilizarse.

Casos	Agua [ml]	Almidón [g]	Glicerina [ml]	Ac. Acético [ml]
1	150.00	19.05	5.20	2.83
2	150.00	16.67	6.14	3.97
3	150.00	17.86	4.25	5.10
4	150.00	14.29	7.09	5.10
5	150.00	14.29	9.92	1.70
6	150.00	21.43	4.25	1.70
7	150.00	15.48	5.20	6.24
8	150.00	17.86	7.09	1.70
9	150.00	14.29	4.25	8.50
10	150.00	15.48	8.03	2.83

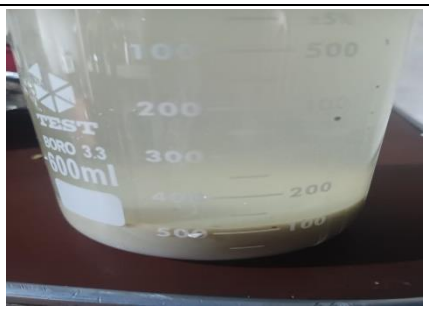
Fuente: [Autor].

2.5. Procedimiento para la obtención de almidón de la oca

En la siguiente Tabla 10, se detalla los pasos que se han utilizado para la obtención del almidón de la oca.

Tabla 10. Procedimiento para la obtención de almidón de la oca.

ACTIVIDAD	GRÁFICO
Se obtiene la materia prima, la oca.	
Lavado y desinfección de la oca.	

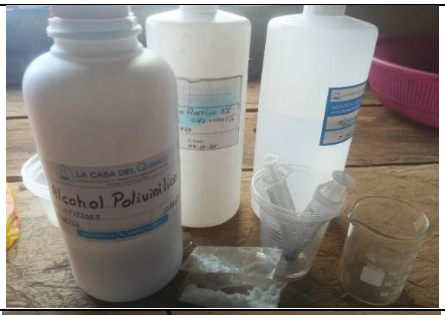
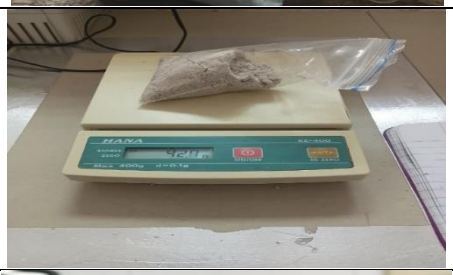
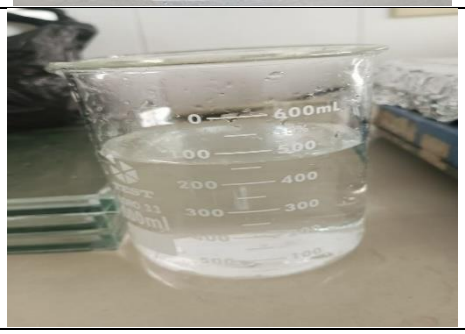
Extracción del zumo de la oca utilizando el extractor para jugos.	
Después de extraer el zumo se obtiene una sustancia lechada. Dejar en reposo por dos horas la lechada.	
Decantar después de dos horas de reposo de la lechada.	
Dejar al aire libre durante 2 a 3 días para el secado.	
Finalmente después de varios días de secado se obtiene el almidón seco de la oca y se guarda en fundas herméticas.	

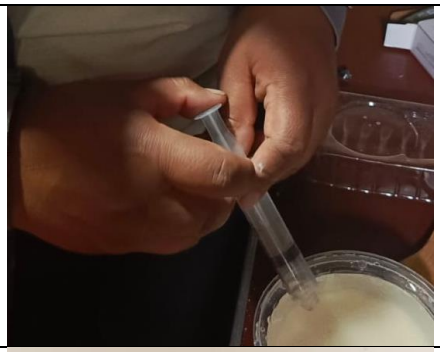
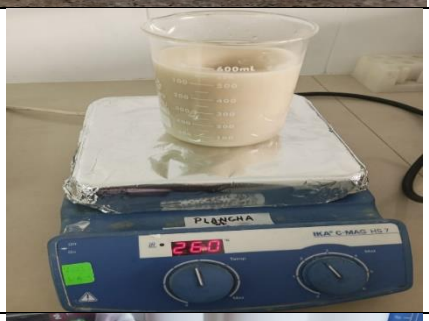
Fuente: [Autor].

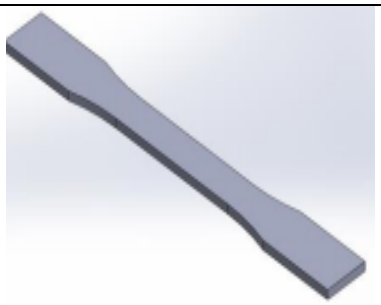
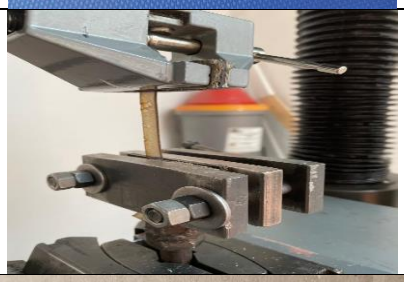
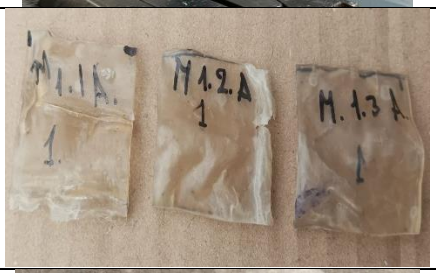
2.6. Procedimiento para la obtención del biopolímero y su caracterización

La siguiente Tabla 11, muestra los pasos que se deben seguir para la obtención del biopolímero, probetas y su caracterización:

Tabla 11. Procedimiento para la obtención del biopolímero y su caracterización.

ACTIVIDAD	GRÁFICO
Determinar las fracciones volumétricas mediante un software.	Codificación Software Almidón / Glicerina / Ac. Acético 1: 0.6666667 / 0.1666667 / 0.1666667 2: 0.3333333 / 0.3333333 / 0.3333333 3: 0.5 / 0 / 0.5 4: 0 / 0.5 / 0.5 5: 0 / 1 / 0 6: 1 / 0 / 0 7: 0.1666667 / 0.1666667 / 0.6666667 8: 0.5 / 0.5 / 0 9: 0 / 0 / 1 10: 0.1666667 / 0.6666667 / 0.1666667
Adquisición los materiales a utilizar para la obtención del material biopolímero y seguidamente la realización de las probetas.	
Se pesa el almidón con la ayuda de la balanza.	
Colocar el volumen requerido de agua destilada con la ayuda de un vaso de precipitación.	

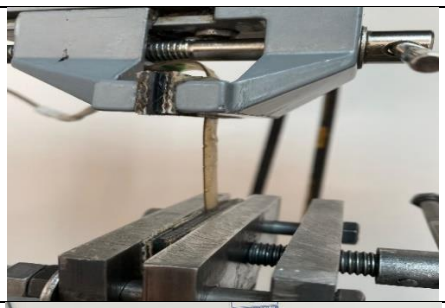
Medir el ácido acético y glicerina con la ayuda de una jeringa.	
Colocar los componentes en un vaso de precipitación y colocar sobre una plancha de calentamiento.	
Espera que se mezclen bien los materiales con la ayuda de un agitador magnético, la mezcla debe alcanzar una temperatura de 65º C a 70º C.	
Colocar un desmoldante en los moldes en la cuales se va a realizar las probetas.	
Verter la mezcla realizada en el molde.	
Dejar secar la mezcla a temperatura ambiente durante 5 a 8 días.	

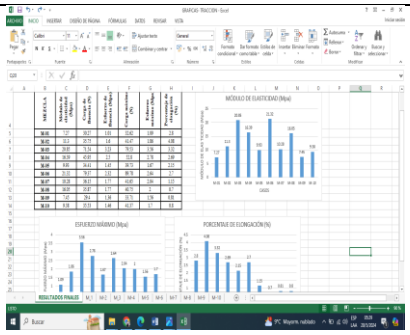
El diseño de las probetas se realiza en un software CAD, utilizando las dimensiones y especificaciones establecidas en las normas ASTM D638 para pruebas de tracción.	
Después de secado se realiza el corte a láser de las probetas con las especificaciones de la Norma ASTM D638.	
Obtención de las probetas para ensayos a tracción.	
Realizar el ensayo a tracción de las probetas en la máquina universal del polímero.	
Corte de las probetas para pruebas de biodegradabilidad acatando a la norma INTE ISO 14855-1.	
Realizar las pruebas de biodegradabilidad.	

Fuente: [Autor].

2.7. Procedimiento para los ensayos de tracción

Tabla 12. Procedimiento para los ensayos de tracción.

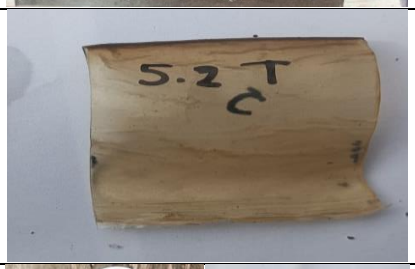
ACTIVIDAD	GRÁFICO
Obtención de bioplásticos para ensayos de tracción.	
Cortar de probetas a láser bajo la norma ASTM D638 Tipo I.	
Registrar información de entrada como el material, el espesor, la longitud de calibración, el ancho y el código de cada muestra.	
Seleccionar los puntos medios, según la norma ASTM D638. Ubicar las probetas en la máquina universal de ensayos WAW600B.	
Introducir los datos de las muestras en el software de ensayo de tracción.	

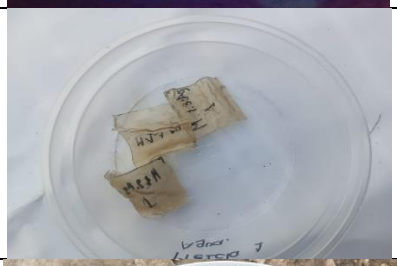
Realizar la prueba aplicando las cargas a una velocidad de 2 mm/min.	
Análisis de los resultados obtenidos después de los ensayos.	

Fuente: [Autor].

2.8. Procedimiento para pruebas de Biodegradabilidad

Tabla 13. Procedimiento para las pruebas de Biodegradabilidad.

ACTIVIDAD	GRÁFICO
Obtención de bioplásticos para pruebas de Biodegradabilidad.	
Corte de muestras de dimensiones de 30 X 30 (mm).	
Estas pruebas son evaluadas en tierra y en aire.	

Para las pruebas de biodegradabilidad en aire y tierra, se toman datos de su peso inicial.	
Aire, se coloca en un recipiente abierto al aire.	
Tierra, en un recipiente se coloca primero una capa de tierra, seguidamente se coloca las probetas sobre la primera capa de la tierra.	
Tierra, después de colocar las probetas se coloca nuevamente una capa más de tierra.	
Aire y tierra, se toman datos de su peso cada dos días por un periodo de 30 días.	
Aire y tierra, se toman pesos finales después de 30 días.	

Fuente: [Autor].

2.9. Parámetros principales para la realización de ensayos

La ejecución de ensayos en distintos tipos de materiales es fundamental para determinar sus propiedades. En bioplásticos, es muy importante realizar los ensayos de tracción y pruebas de biodegradabilidad, por ello a continuación se presenta los ensayos realizados:

2.9.1. Tracción

El objetivo principal es determinar el esfuerzo máximo de tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación. Esto se logrará aplicando una fuerza axial progresiva en el centro de la probeta hasta alcanzar el punto de ruptura. Este ensayo se realizará con la máquina universal de ensayos, acatando a los parámetros la Norma ASTM D638, tipo I.

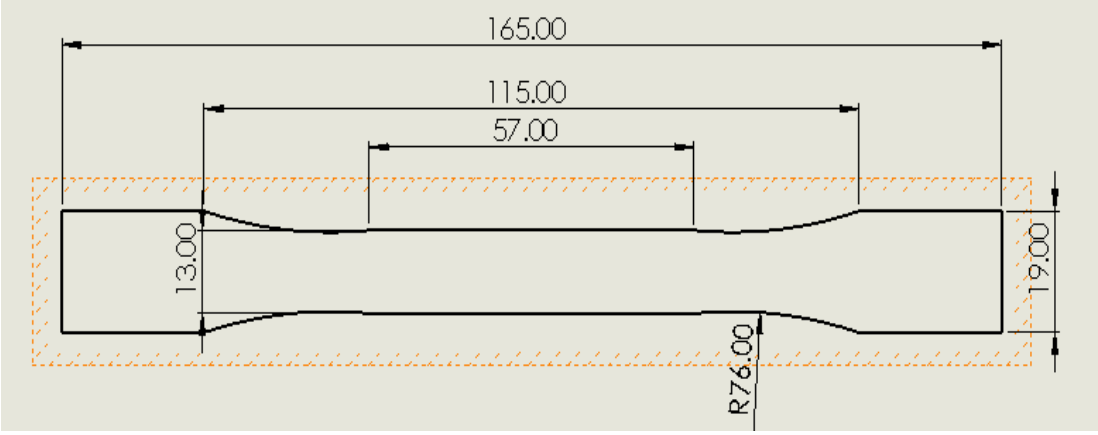


Figura 9. Dimensiones de las probetas para ensayos de tracción en (mm).

Uno de los procedimientos más frecuentes en el ámbito de los materiales compuestos resulta fundamental para evaluar su deformación máxima. Para llevar a cabo esta evaluación, es esencial obtener muestras del material en forma de probetas, las cuales se posicionan en una Máquina Universal de Ensayos. Estas probetas se sujetan en un soporte de acuerdo con los parámetros establecidos, y se les aplica una fuerza axial a lo largo de su eje transversal. Durante el ensayo, esta fuerza se incrementa de manera gradual.

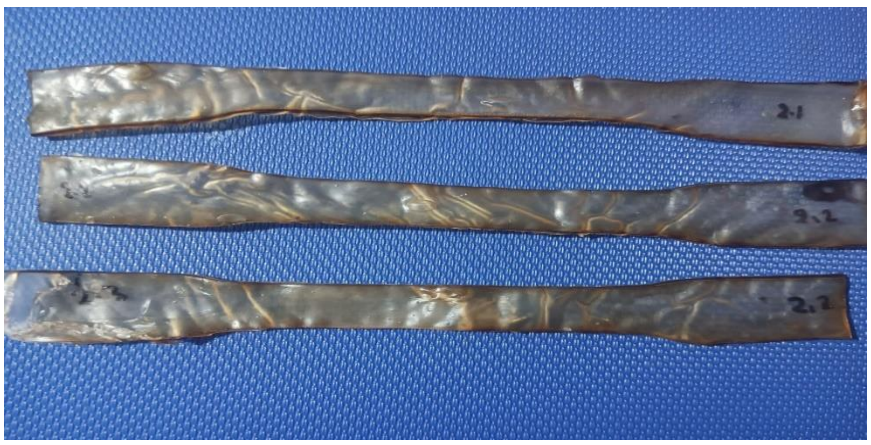


Figura 10. Probetas para ensayos de tracción.

Características principales

- Este análisis se llevará a cabo conforme a la normativa ASTM D638 Tipo 1.
- Las dimensiones precisas de las probetas son de 165 mm de largo y 19 mm de ancho, sin importar el grosor del material, siempre y cuando se cumpla con la caracterización necesaria para las probetas.

Además, es fundamental señalar que para calcular las propiedades mecánicas de manera analítica, es necesario aplicar diversas fórmulas, que se detallan a continuación.



Figura 11. Máquina universal de ensayos WAW600B.

Propiedades para ensayos de tracción

a. Resistencia a la tracción (MPa)

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

$P =$ Fuerza aplicada (Newton)

$A =$ Área de la seccion transversal (m^2)

b. Deformación por tracción

Ec. 2.2

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g}$$

Donde:

ε_i = deformación máxima

δ_i = desplazamiento del cabezal móvil (mm)

L_g = longitud calibrada (mm)

c. Módulo de elasticidad (Young)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

σ = Esfuerzo máximo a la tracción (Mpa)

ε = elongación de material

d. Ductilidad (%)

$$\%\ \text{deformación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \qquad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

l_0 = longitud inicial (mm)

l_f = longitud final (mm)

2.9.2. Biodegradabilidad

Biodegradación en condiciones controladas: Para evaluar la biodegradación del material, se llevó a cabo una prueba conforme a la normativa ISO 14855-1. La evaluación de la Biodegradabilidad se realizó mediante el método gravimétrico. Se utilizaron varias muestras de 30 mm x 30 mm. Estas muestras fueron analizadas en condiciones de aire y suelo, la temperatura a la que fueron sometidas las probetas fueron a la temperatura ambiente, la temperatura de cada día fueron diferentes, hubieron días con temperaturas más altas que otras.

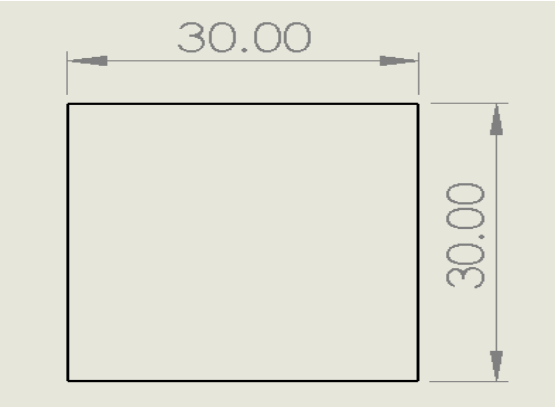


Figura 12. Dimensiones de la probeta para prueba de biodegradabilidad en (mm).

La Biodegradabilidad de los bioplásticos se define según la estructura física y química del polímero, y se ve afectada por diversos factores como el pH, la temperatura, la humedad y el nivel de oxígeno. Estos elementos desempeñan un papel crucial en el proceso de descomposición, lo que indica que no todos los bioplásticos se desintegrarán en las mismas condiciones ambientales [27].

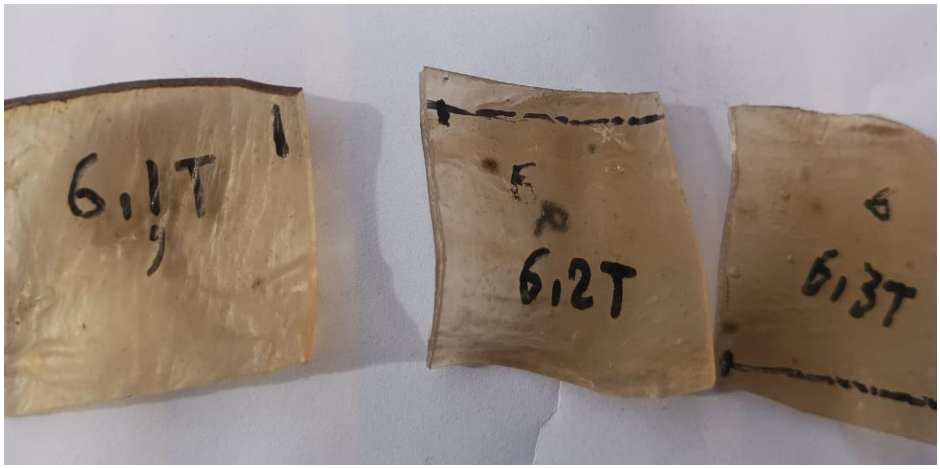


Figura 13. Probeta para prueba de Biodegradabilidad.

Características principales

- Este análisis se llevará a cabo conforme a la normativa INTE/ISO 14855-1.
- Las dimensiones precisas de las probetas son de 30 mm de largo y 30 mm de ancho, sin importar el grosor del material, siempre y cuando se cumpla con la caracterización necesaria para las probetas.

Para determinar el porcentaje de biodegradabilidad en el material se registraron los pesos del bioplástico durante un período de 30 días, finalmente se aplica la siguiente formula, para conocer el porcentaje de su peso inicial.

$$\%\ \text{de biodegradabilidad} = \frac{(W_i - W_r)}{W_i} X100 \qquad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

W_i = peso inicial del material

W_r = peso residual del material

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las pruebas de tracción y Biodegradabilidad. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a tracción y Biodegradabilidad se comparan y se presentan a través de gráficos y se recopilan datos en fichas técnicas para su análisis.

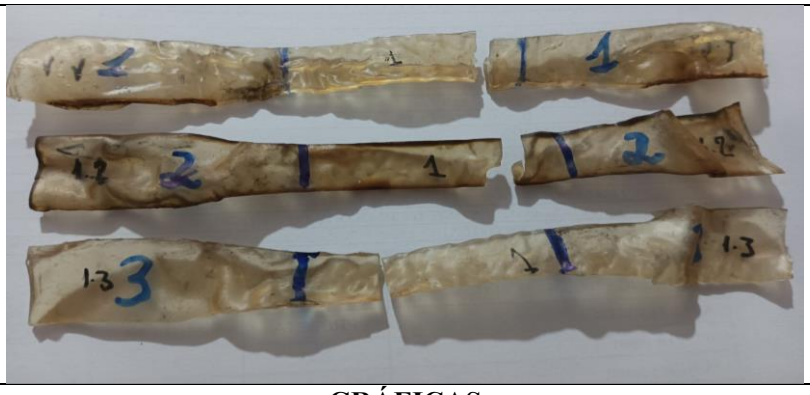
3.1.1. Ficha de recolección de datos de ensayos a tracción de bioplásticos.

Tabla 14. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificación:**	P1-01 P1-02 P1-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	2.34	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min
RESULTADOS			

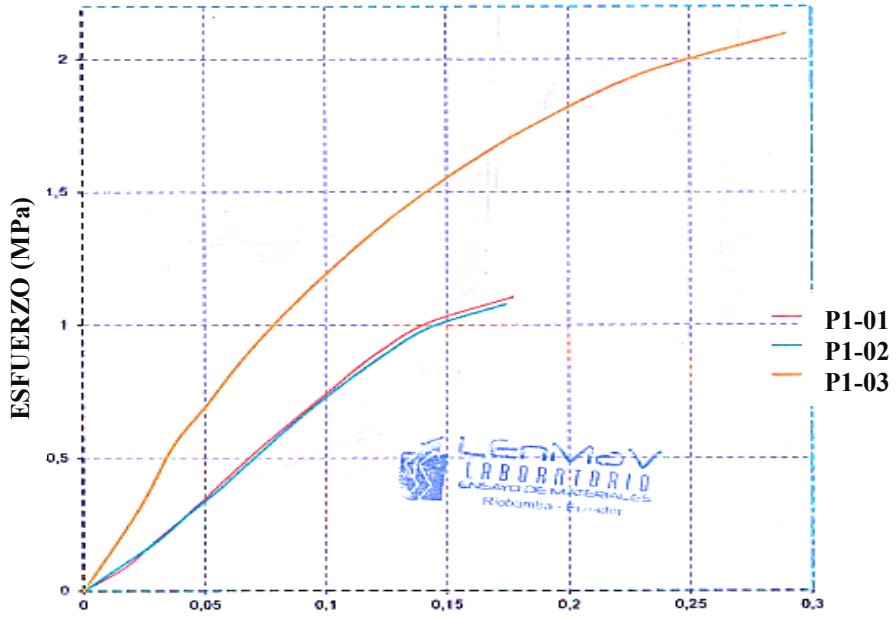
N° probetas	Módulo de elasticidad (Mpa)	Carga de fluencia (N)	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Porcentaje de elongación (%)
P1-01	7.358	30.05	1.011	32.83	1.105	2.12
P1-02	7.176	30.49	1.013	32.40	1.08	3.48
P1-03	11.77	45.34	1.887	50.38	2.10	3.56
Promedio	**7.27**	**30.27**	**1.01**	**32.62**	**1.09**	**2.80**

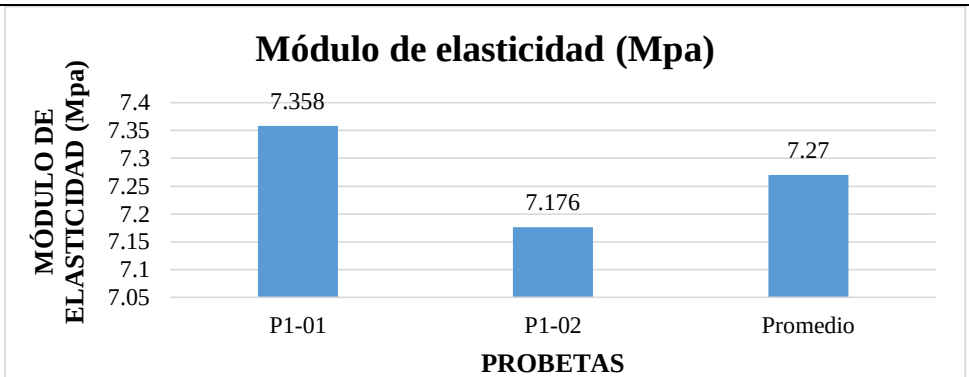
PROBETA ENSAYADA

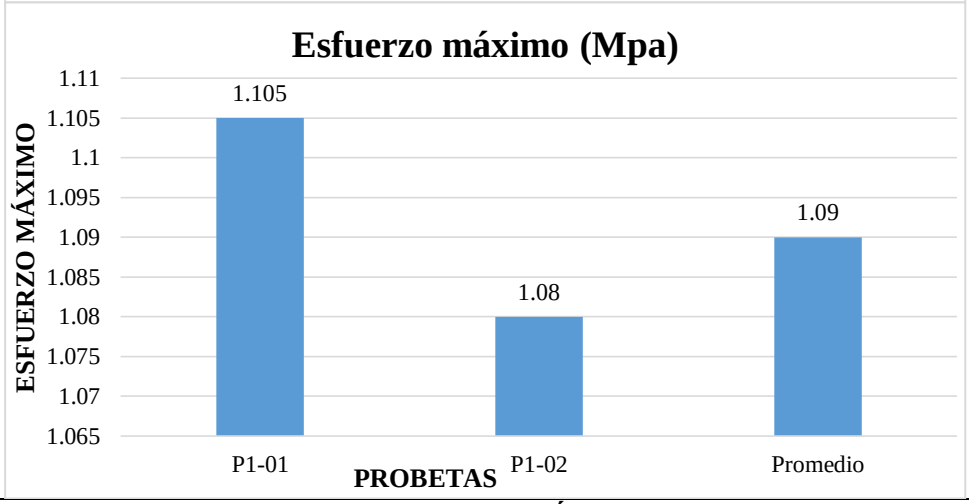


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo- Deformación unitaria







OBSERVACIÓN

- En los ensayos de tracción realizadas las probetas P1-01 y P1-02 presentan valores similares, en comparacion de la probeta P1-03, esta probeta preseta como resultado casi el doble de las probetas anteriores, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las probetas P1-01 y P1-02. Y la probeta P1-03 se descarta y se marca con un color gris.

Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	1.09	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	2.80	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	7.27	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	32.62	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 15. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

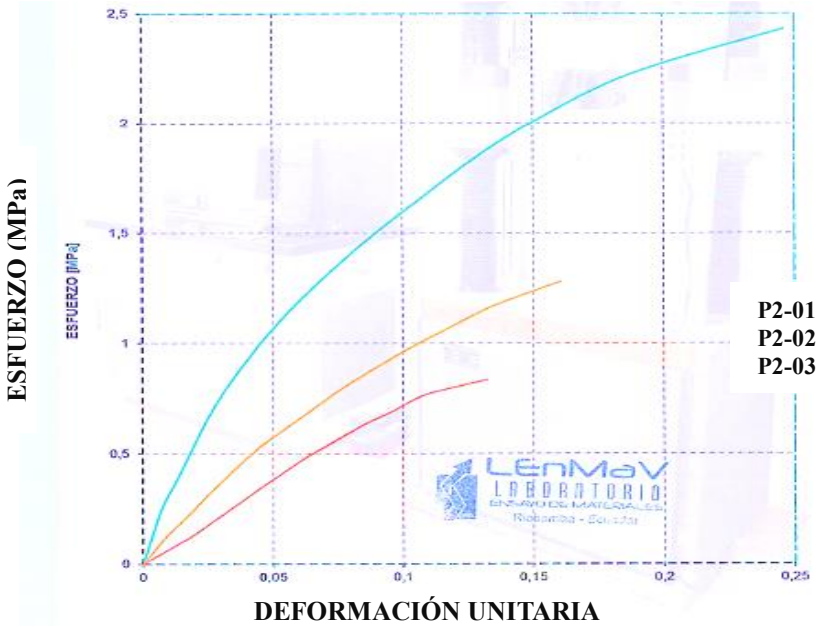
Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificación:**	P2-01 P2-02 P2-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	2.09	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

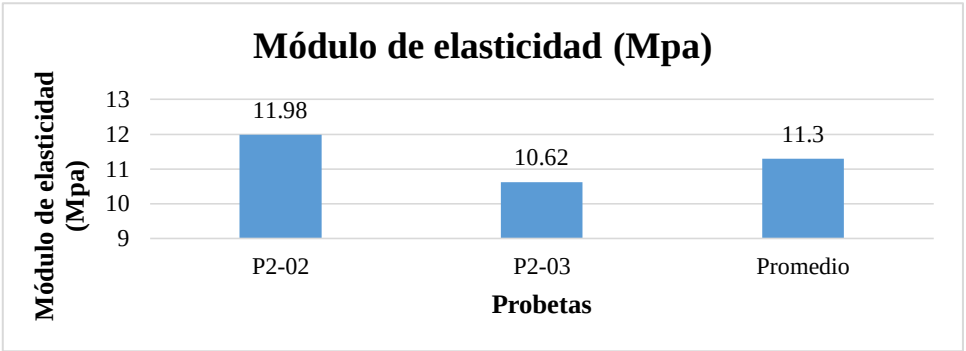
RESULTADOS						
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P2-01	7.608	19.21	0.762	21.01	0.834	2.22
P2-02	11.98	42.80	2.130	48.81	2.43	2.86
P2-03	10.62	28.69	1.075	34.18	1.28	5.30
Promedio	**11.30**	**35.75**	**1.60**	**41.47**	**1.86**	**4.08**
PROBETA ENSAYADA						

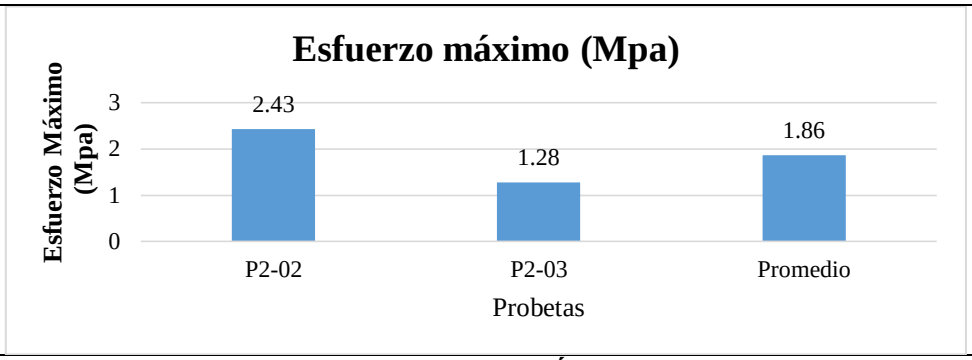


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo – Deformación unitaria







OBSERVACIÓN

- En los ensayos de tracción realizadas las probetas P2-02 y P2-03 presentan valores similares, en comparacion de la probeta P2-01, esta probeta preseta como resultado casi el doble de las probetas anteriores, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las probetas P2-02 y P2-03. La probeta P2-01 se descarta y se marca con un color gris.

Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	1.86	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	4.08	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	11.30	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	41.47	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 16. Ficha técnica del bioplástico- Mezcla 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P3-01 P3-02 P3-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	1.83	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

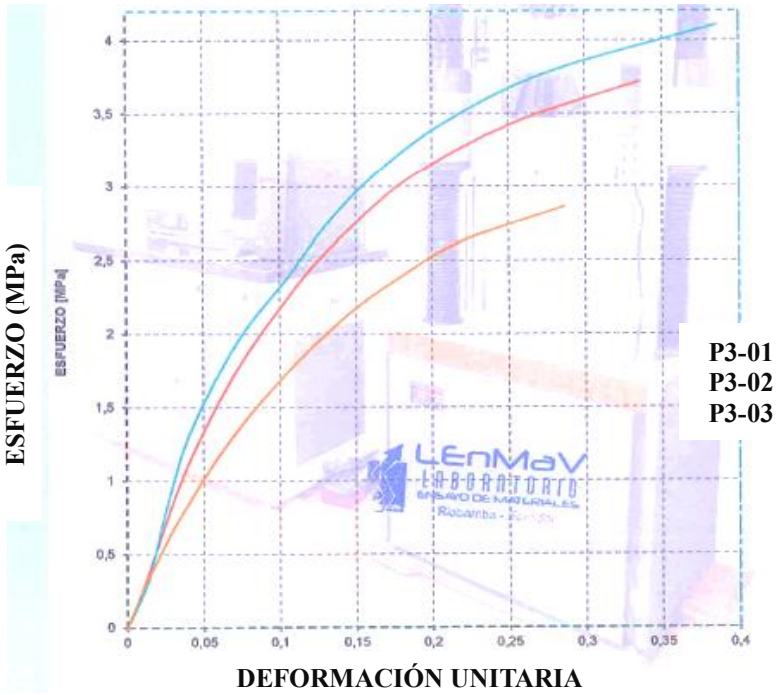
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P3-01	21.71	77.32	3.346	85.88	3.717	4.90
P3-02	23.86	69.81	3.809	75.23	4.10	2.64
P3-03	16.97	68.50	2.527	77.48	2.86	2.42
Promedio	**20.85**	**71.54**	**3.23**	**79.53**	**3.56**	**3.32**

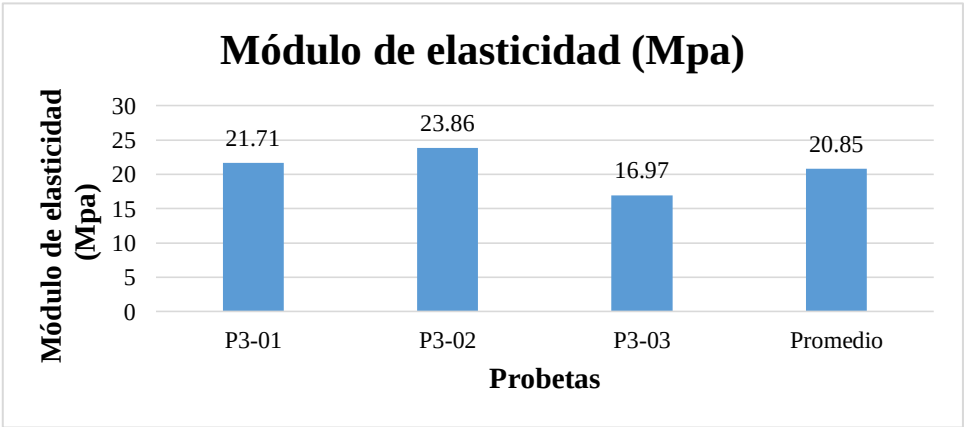
PROBETA ENSAYADA

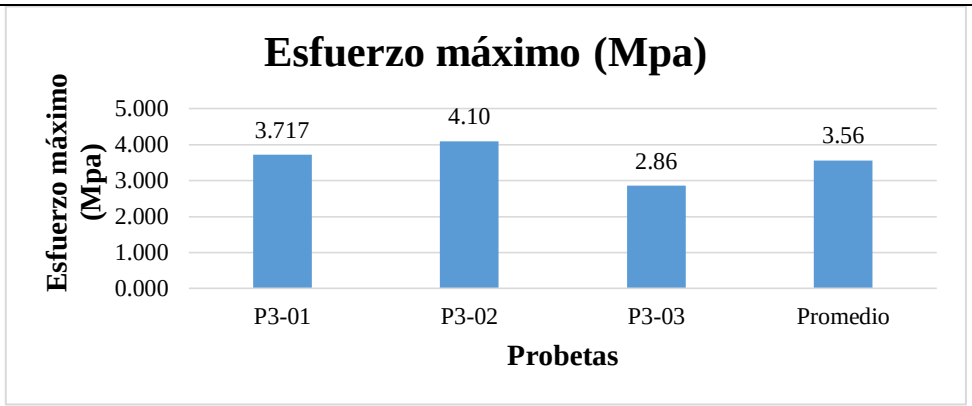


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo- Deformación unitaria







OBSERVACIÓN			
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P3-01, P3-02 y P3-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	3.56	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	3.32	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	20.85	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	79.53	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 17. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 4.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

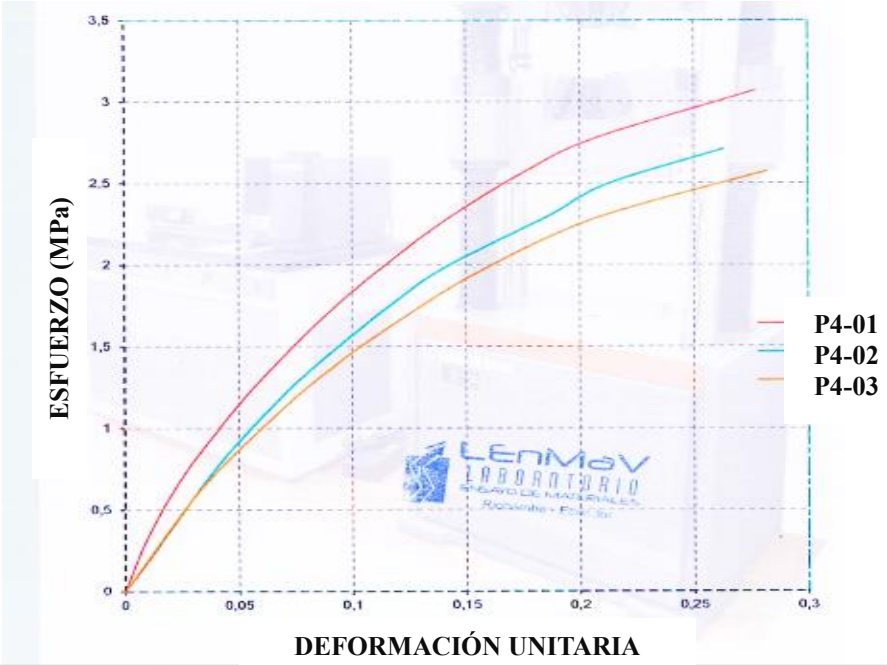
Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificación:**	P4-01 P4-02 P4-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promediov(mm):	1.65	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

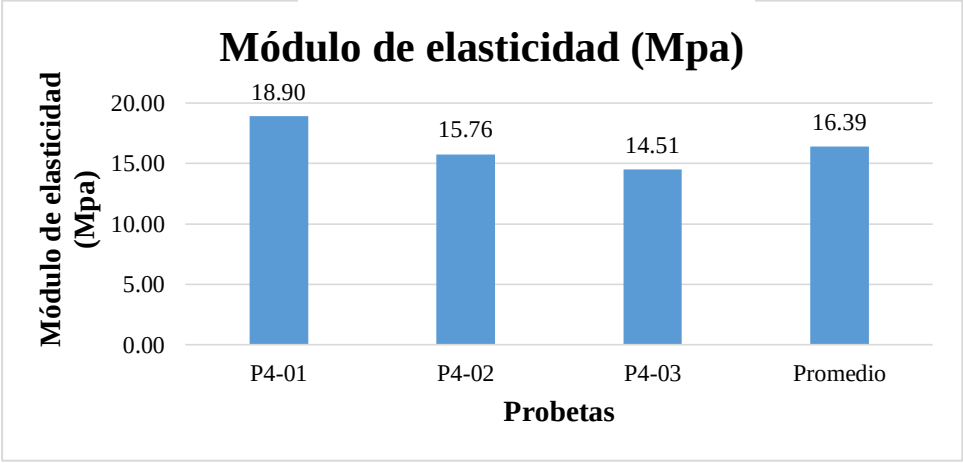
RESULTADOS						
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P4-01	18.90	46.15	2.658	53.33	3.071	2.04
P4-02	15.76	42.12	2.360	48.38	2.71	1.10
P4-03	14.51	49.60	2.251	56.70	2.57	4.94
Promedio	**16.39**	**45.95**	**2.50**	**52.80**	**2.78**	**2.69**
PROBETA ENSAYADA						

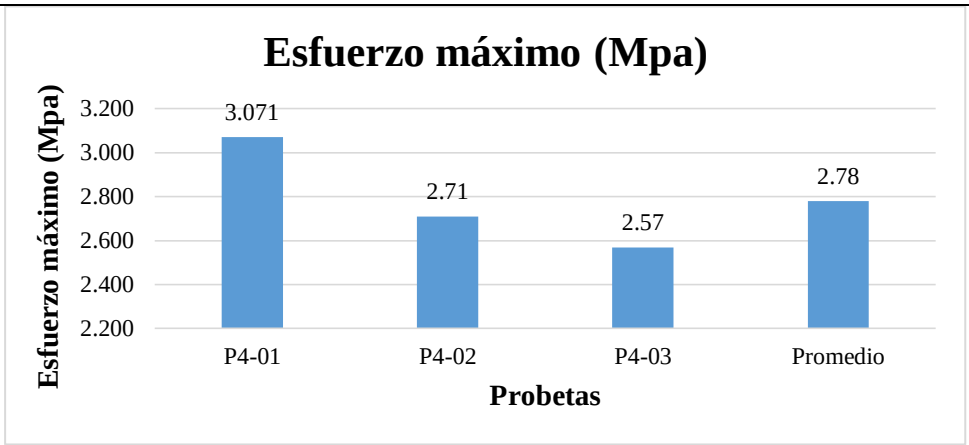


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo- Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN

- En los ensayos de tracción realizadas las probetas P4-01, P4-02 y P4-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.78	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	2.69	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	16.39	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	52.80	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 18. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 5.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P5-01 P5-02 P5-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	1.83	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

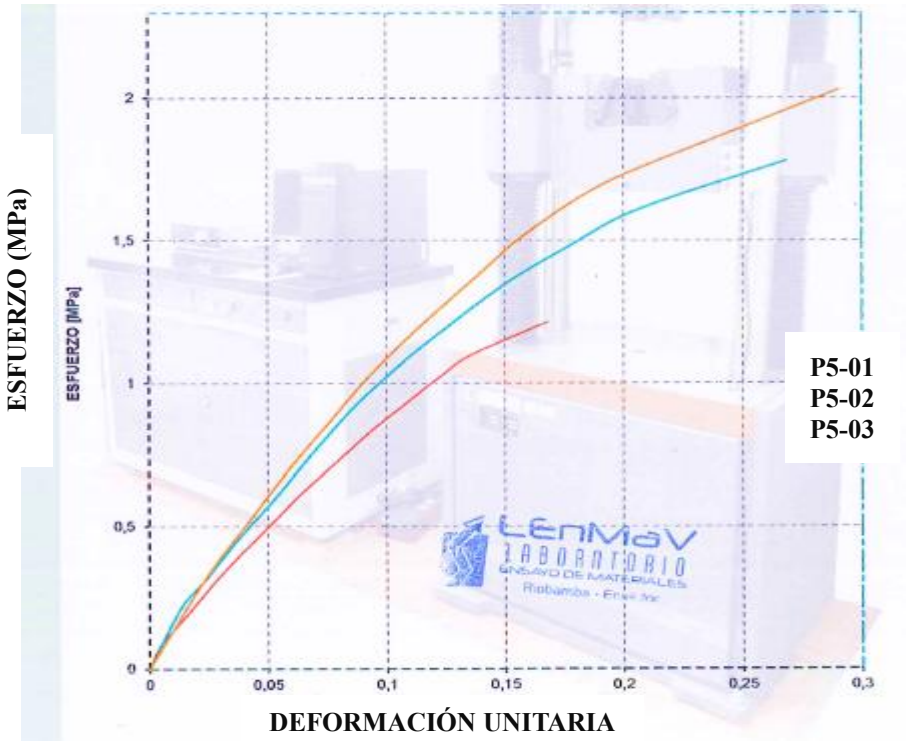
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P5-01	9.248	29.33	1.042	34.19	1.215	3.10
P5-02	10.02	32.42	1.541	37.44	1.78	2.36
P5-03	10.53	41.49	1.770	47.56	2.03	1
Promedio	**9.93**	**34.41**	**1.45**	**39.73**	**1.67**	**2.15**

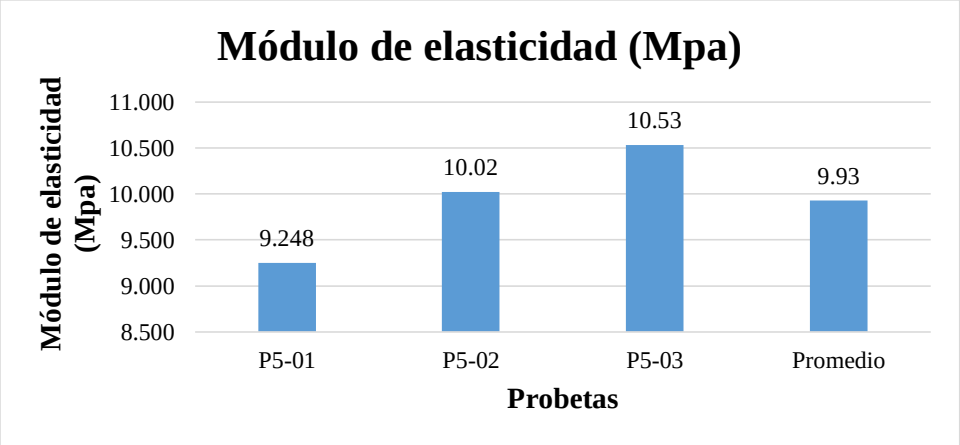
PROBETA ENSAYADA

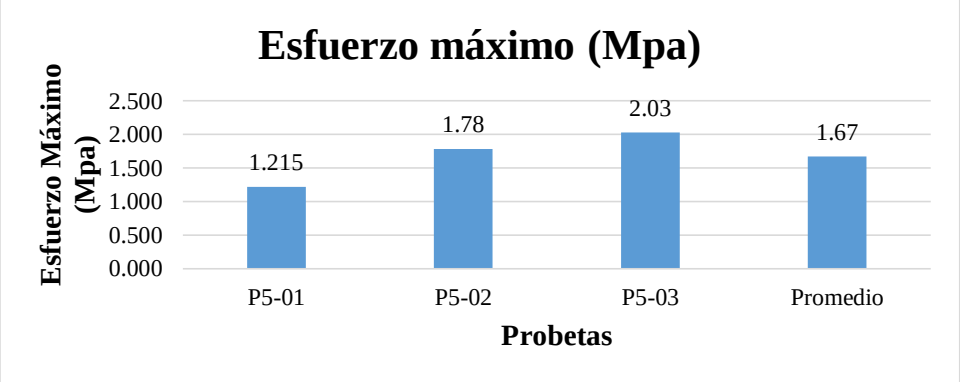


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo- Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN

- En los ensayos de tracción realizadas las probetas P5-01, P5-02 y P5-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.03	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	2.15	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	9.93	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	39.73	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 19. Ficha técnica del Bioplástico-Mezcla 6.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P6-01 P6-02 P6-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	2.15	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

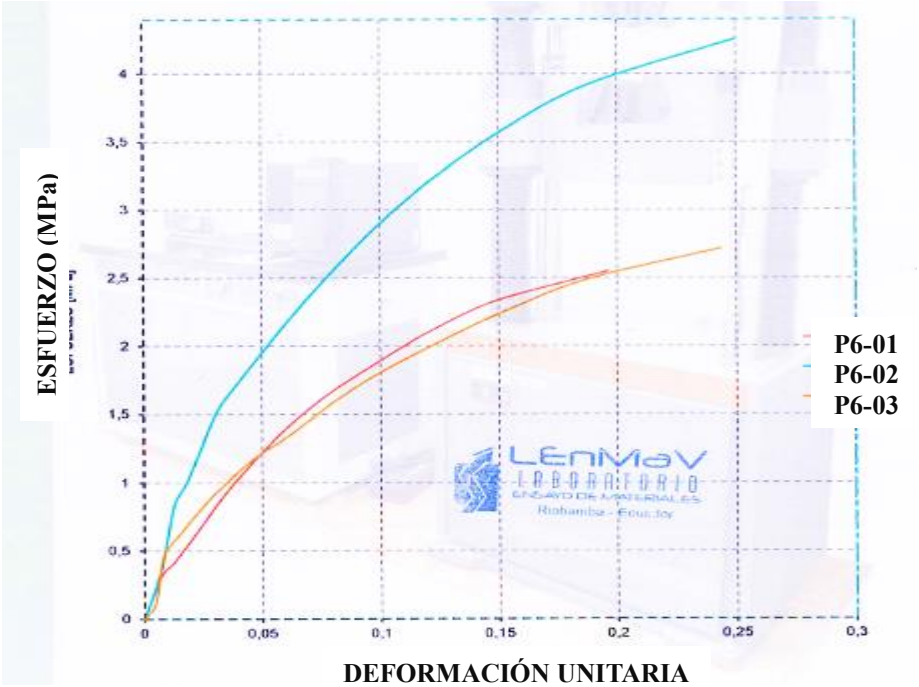
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P6-01	22.17	96.02	2.305	106.29	2.551	2.22
P6-02	35.36	81.83	3.762	92.54	4.25	2.84
P6-03	20.46	62.72	2.325	73.26	2.72	3.18
Promedio	**21.32**	**79.37**	**2.32**	**89.78**	**2.64**	**2.70**

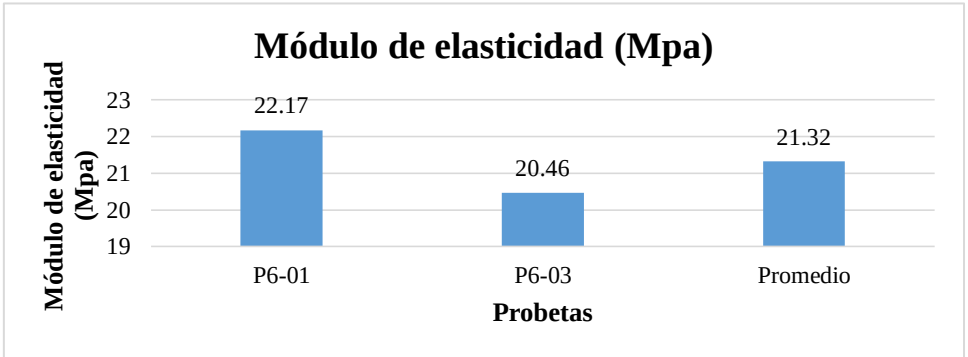
PROBETA ENSAYADA

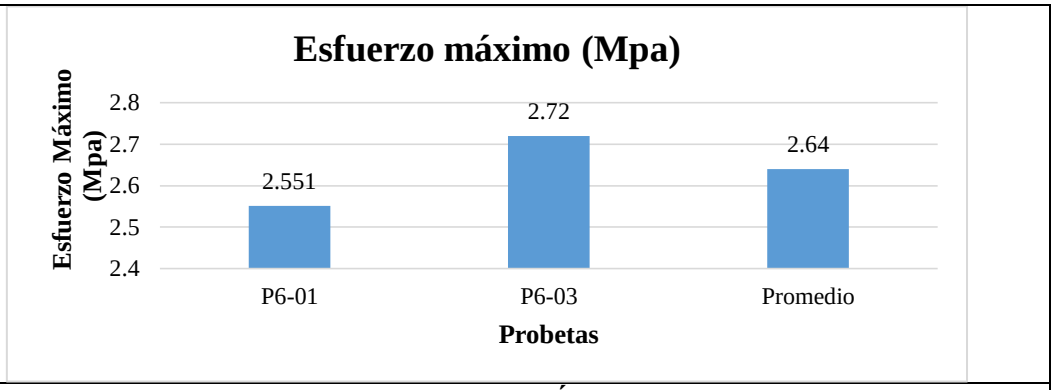


GRÁFICAS

Curva Esfurzo- Deformacion Unitaria







OBSERVACIÓN

- En los ensayos de tracción realizadas las probetas P6-01 y P6-03 presentan valores similares, en comparacion de la probeta P6-02, esta probeta preseta como resultado casi el doble de las probetas anteriores, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las probetas P6-01 y P6-03. La probeta P6-02 se descarta y se marca con un color gris.

Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.64	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	2.70	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	21.32	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	89.78	**Validado por:**	Ing. JuanParedes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

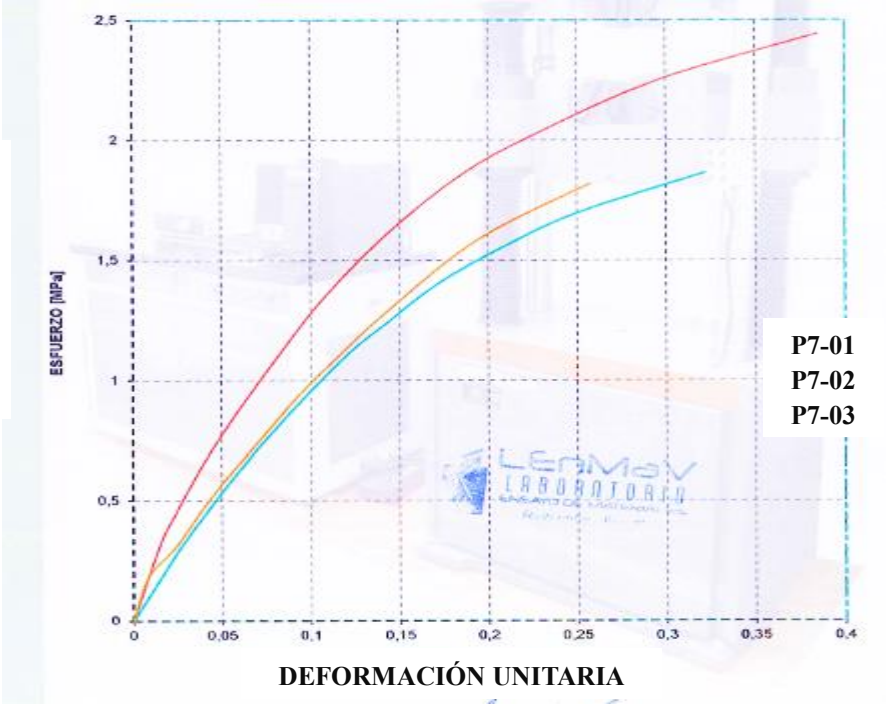
Tabla 20. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 7.

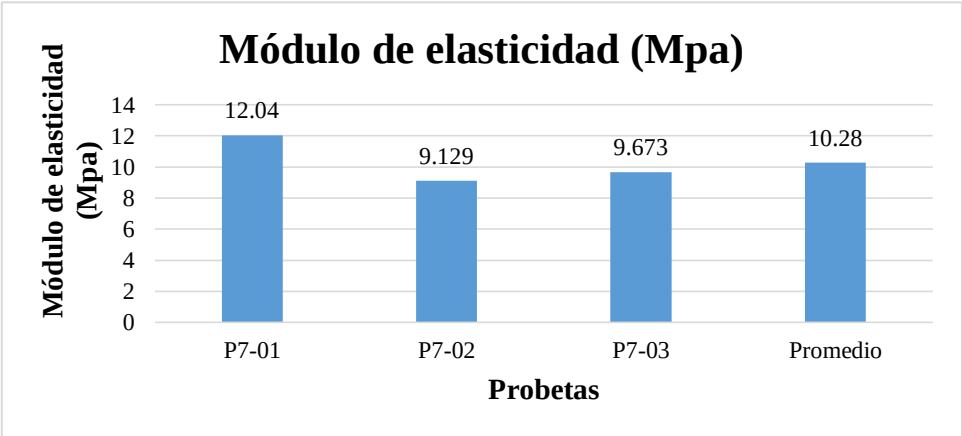
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA						
Ficha de recolección de datos						
TRACCIÓN_ASTM D638						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental			**Codificacion:**	P7-01 P7-02 P7-03	
Fecha de ejecución:	14/05/2024			**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B	
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol			**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Material:	Bioplástico			**Número de probetas:**	3	
Norma:	ASTM D638			**Dimensiones (mm):**	165*19*e	
Espesor promedio (mm):	1.64			**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min	
RESULTADOS						
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P7-01	12.04	36.85	2.136	42.12	2.442	0.60
P7-02	9.129	39.44	1.614	45.55	1.86	1.28
P7-03	9.673	32.18	1.569	37.30	1.82	1.58
Promedio	**10.28**	**36.15**	**1.77**	**41.65**	**2.04**	**1.15**
PROBETA ENSAYADA						

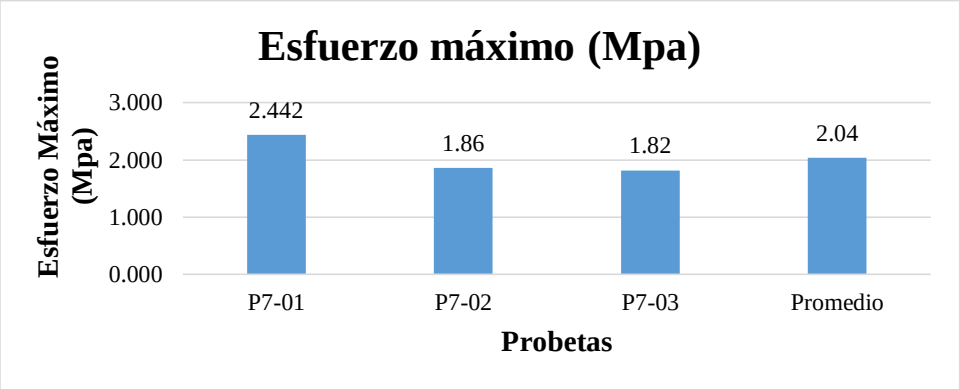


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo- Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN			
En los ensayos de tracción realizadas las probetas P7-01 P7-02 y P7-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.04	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	1.15	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	10.28	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	41.65	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 21. Ficha Técnica del Bioplástico- Mezcla 8.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P8-01 P8-02 P8-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	1.69	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

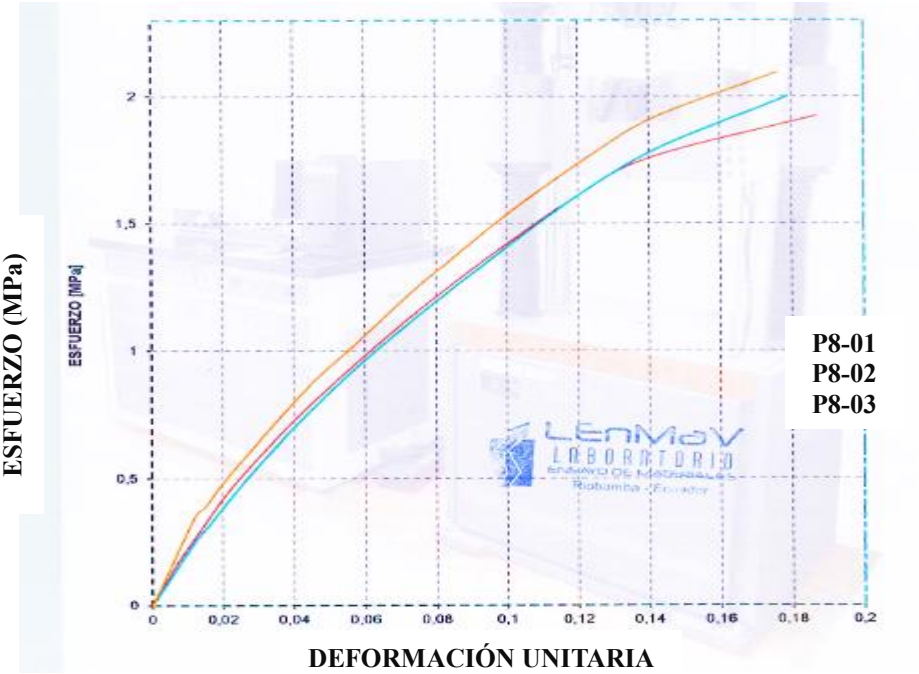
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P8-01	15.81	33.81	1.762	36.92	1.924	1.32
P8-02	15.19	36.71	1.717	42.75	2	0.50
P8-03	17.16	37.09	1.825	42.58	2.09	0.28
Promedio	**16.05**	**35.87**	**1.77**	**40.75**	**2.00**	**0.70**

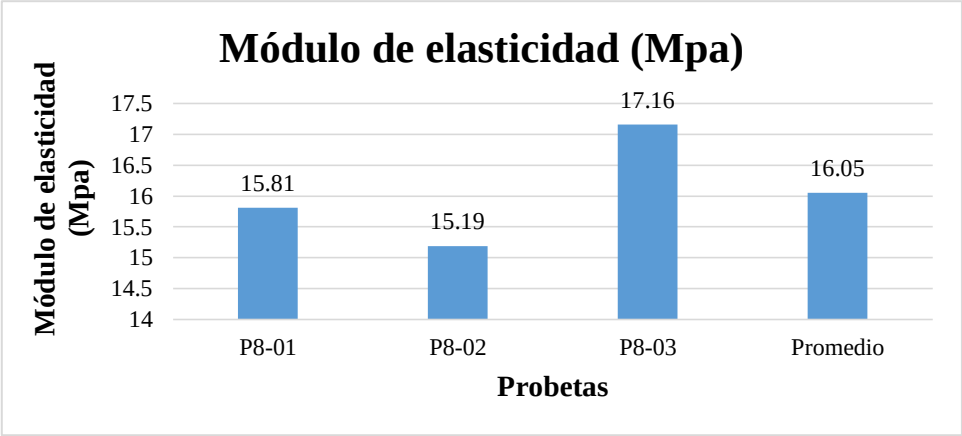
PROBETA ENSAYADA

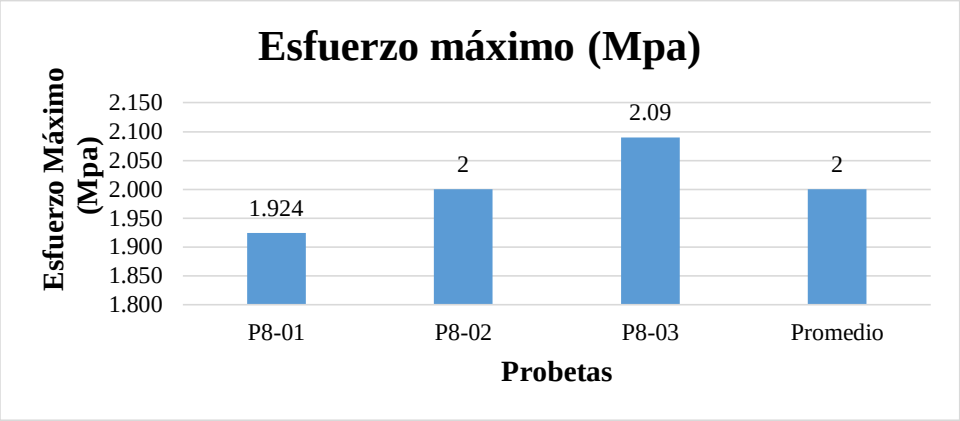


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo – Deformación unitaria







OBSERVACIÓN			
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P8-01, P8-02 y P8-02 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.00	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	0.78	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	16.05	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	40.75	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 22. Ficha técnica del Bioplástico-Mezcla 9.

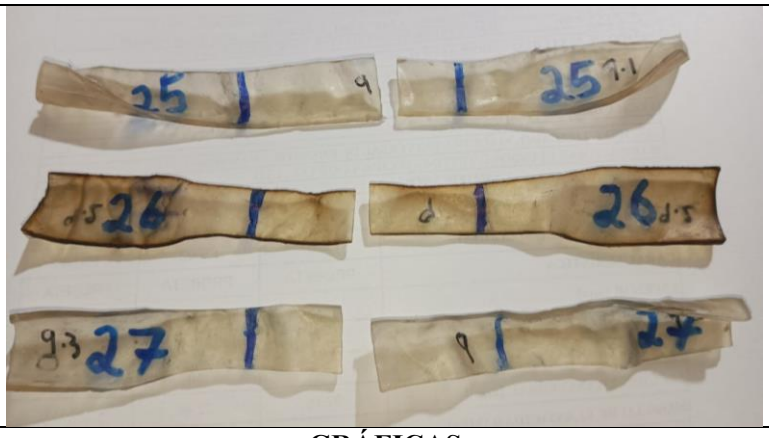
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P9-01 P9-02 P9-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	1.59	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

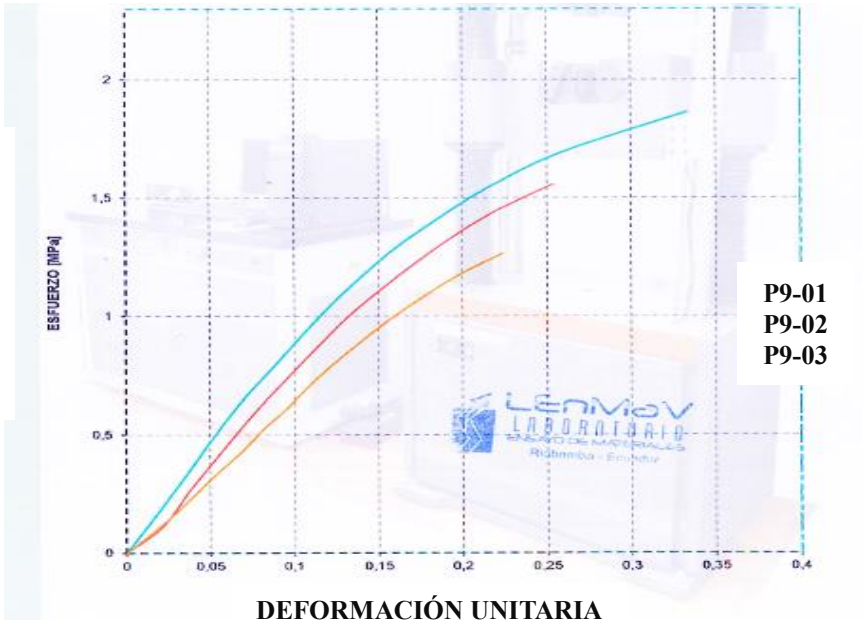
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P9-01	7.529	30.32	1.368	34.54	1.559	1.32
P9-02	8.413	36.79	1.643	41.72	1.86	0.64
P9-03	6.412	21.11	1.074	24.88	1.27	0.48
Promedio	**7.45**	**29.40**	**1.36**	**33.71**	**1.56**	**0.81**

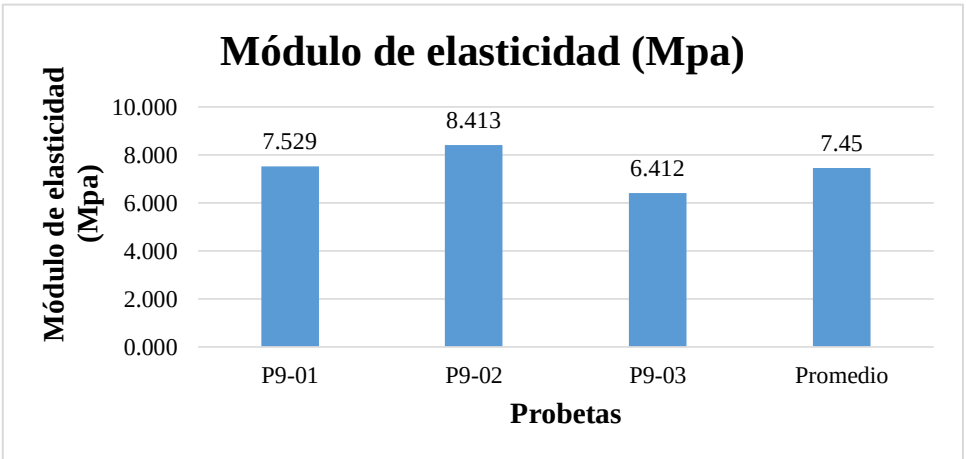
PROBETA ENSAYADA

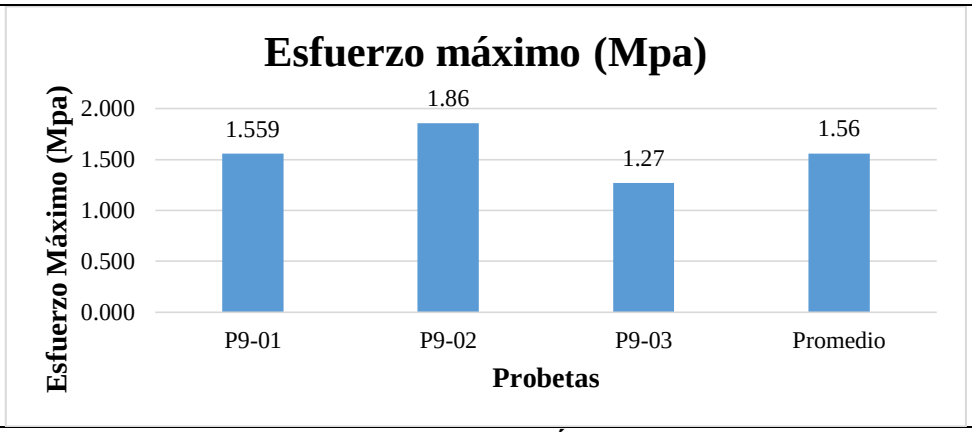


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación unitaria







OBSERVACIÓN			
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P9-01, P9-02 y P9-02 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	1.56	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	0.81	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	7.45	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	33.71	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 23. Ficha técnica del Bioplástico- Mezcla 10.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

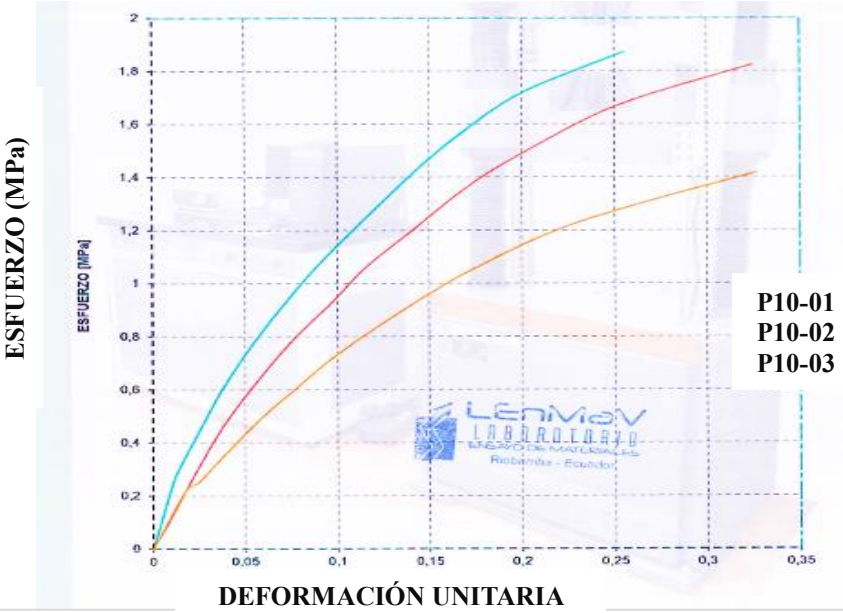
Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P10-01 P10-02 P10-03
Fecha de ejecución:	14/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	2.07	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

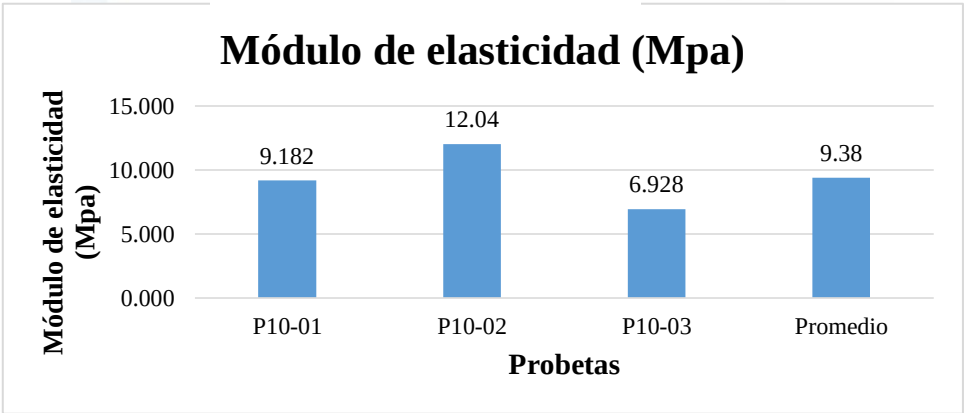
RESULTADOS						
N° probetas	**Módulo de elasticidad (**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P10-01	9.182	37.59	1.582	43.35	1.825	1.72
P10-02	12.04	32.41	1.594	38.05	1.87	0.32
P10-03	6.928	36.59	1.214	42.72	1.42	0.38
Promedio	**9.38**	**35.53**	**1.46**	**41.37**	**1.70**	**0.80**
PROBETA ENSAYADA						

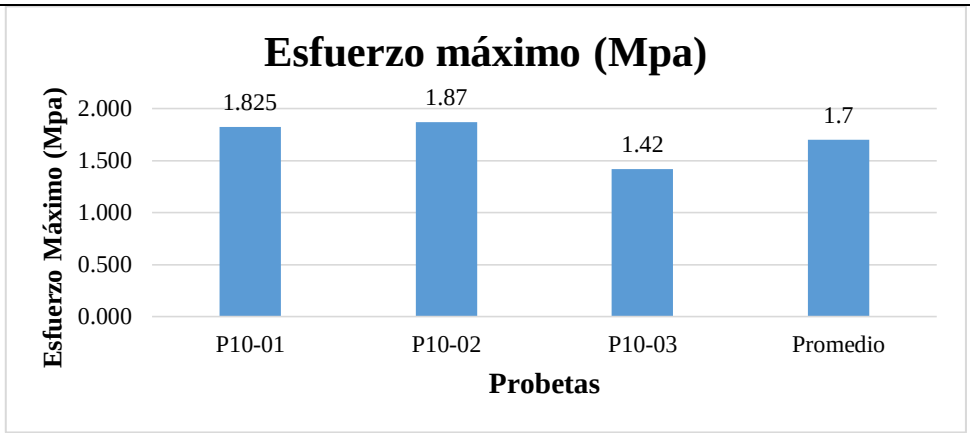


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P10-01, 10-02 y P10-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

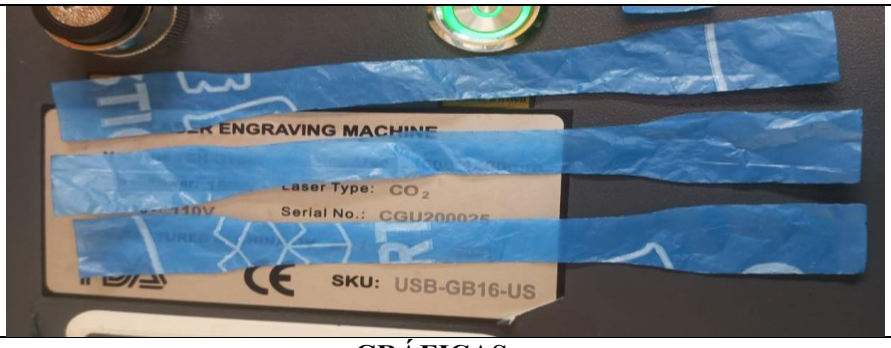
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	1.70	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	0.80	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	9.38	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	41.37	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

3.1.2. Ficha de recolección de datos de ensayos de tracción de plásticos comunes.

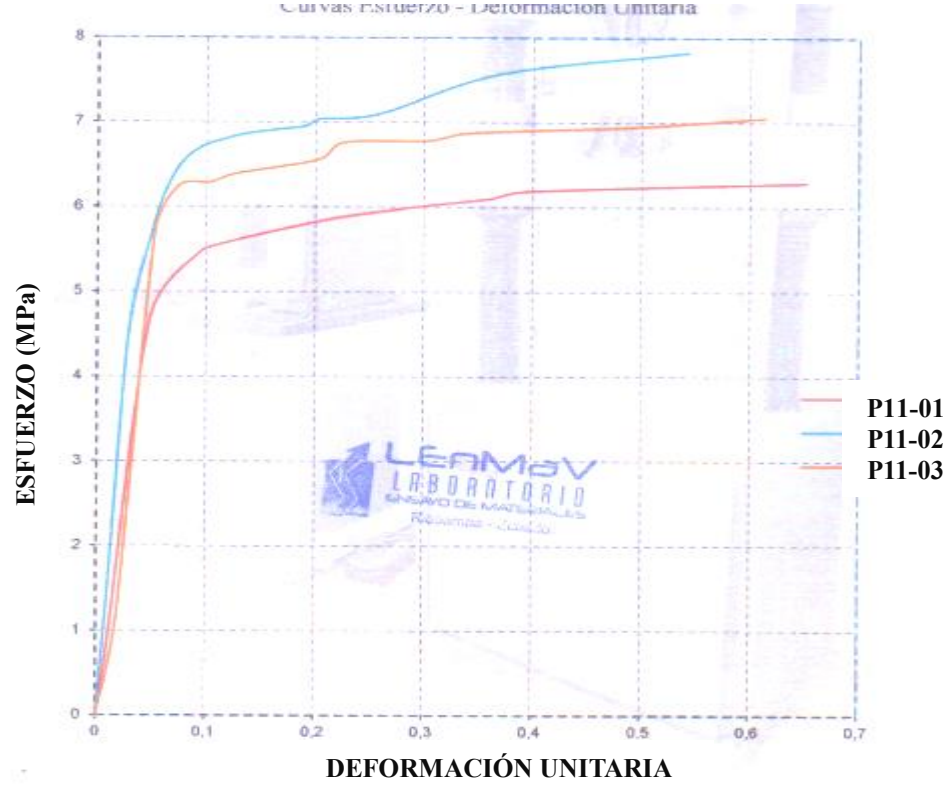
Tabla 24. Ficha técnica de funda plástico "TIA".

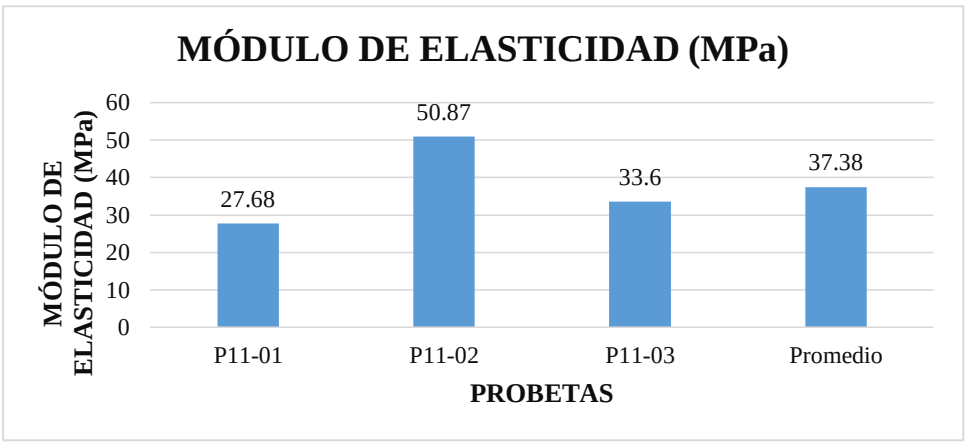
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA						
Ficha de recolección de datos						
TRACCIÓN_ASTM D638						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		**Codificacion:**	P11-01 P11-02 P11-03		
Fecha de ejecución:	21/05/2024		**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol		**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.		
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador					
Marca:	TIA					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Material:	Plástico		**Número de probetas:**	3		
Norma:	ASTM D638		**Dimensiones (mm):**	165*19*e		
Espesor promedio (mm):	0.04		**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min		
RESULTADOS						
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P11-01	27.68	2.51	5.20	3.03	6.29	74.00
P11-02	50.87	2.81	5.92	3.72	7.82	89.48
P11-03	33.60	2.90	6.10	3.36	7.05	67.96
Promedio	**37.38**	**2.74**	**5.74**	**3.37**	**7.05**	**77.15**
PROBETA ENSAYADA						

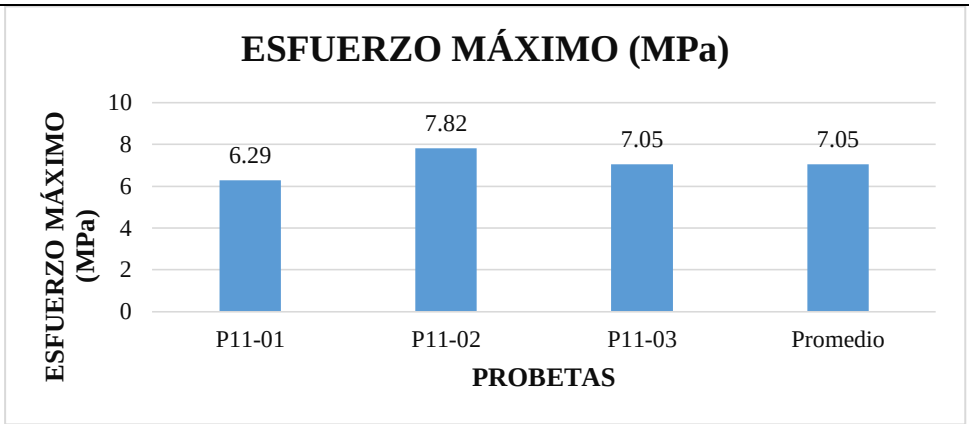


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P11-01, P11-02 y P11-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	7.05	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	77.15	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	37.38	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	3.37	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 25. Ficha Técnica de funda plástico "MI COMISARIATO"

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P12-01 P12-02 P12-03
Fecha de ejecución:	28/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
Marca:	MI COMISARIATO		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Plástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	0.06	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

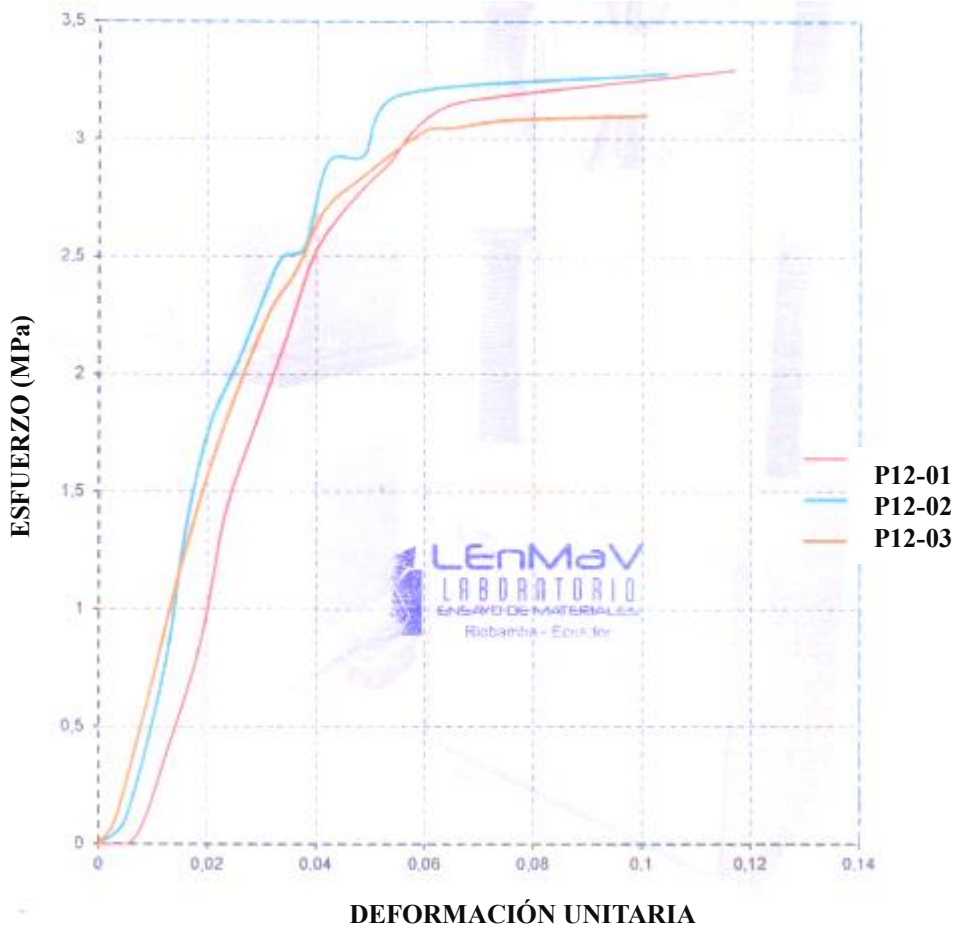
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P12-01	59.79	1.77	2.70	2.16	3.29	17.57
P12-02	74.73	1.62	2.50	2.13	3.29	16.94
P12-03	63.10	1.27	2.30	1.72	3.10	17.87
Promedio	**65.87**	**1.55**	**2.50**	**2.00**	**3.23**	**17.46**

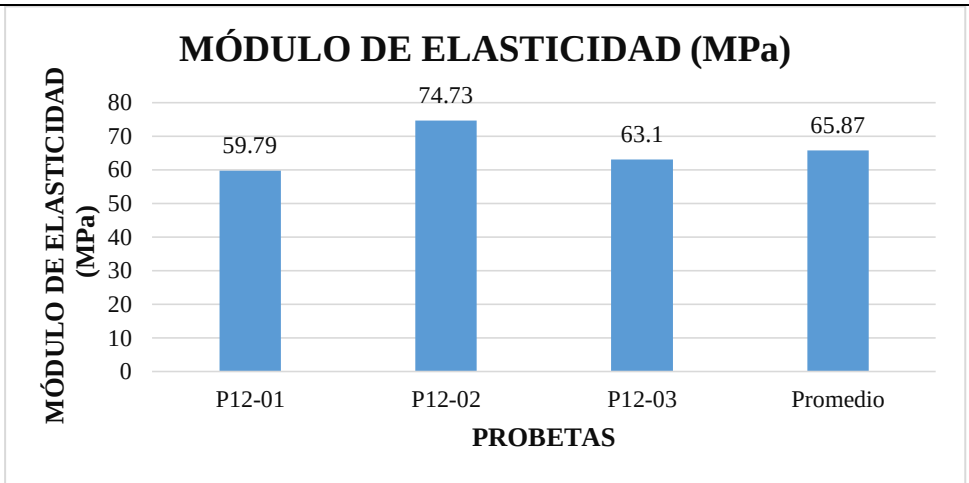
PROBETA ENSAYADA

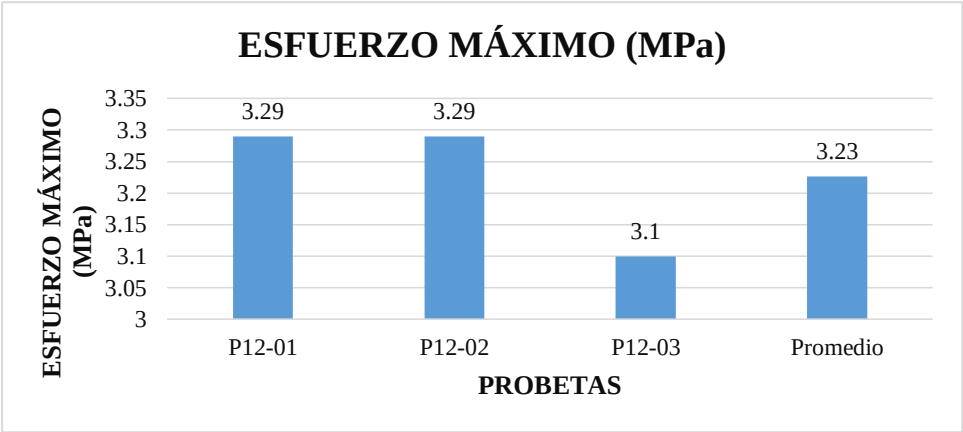


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P12-01, P12-02 y P12-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	3.23	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	17.46	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	65.87	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	2.00	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 26. Ficha técnica de funda plástica "EMPROVIT"

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P13-01 P13-02 P13-03
Fecha de ejecución:	21/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
Marca:	PARAÍSO		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Plástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	0.08	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

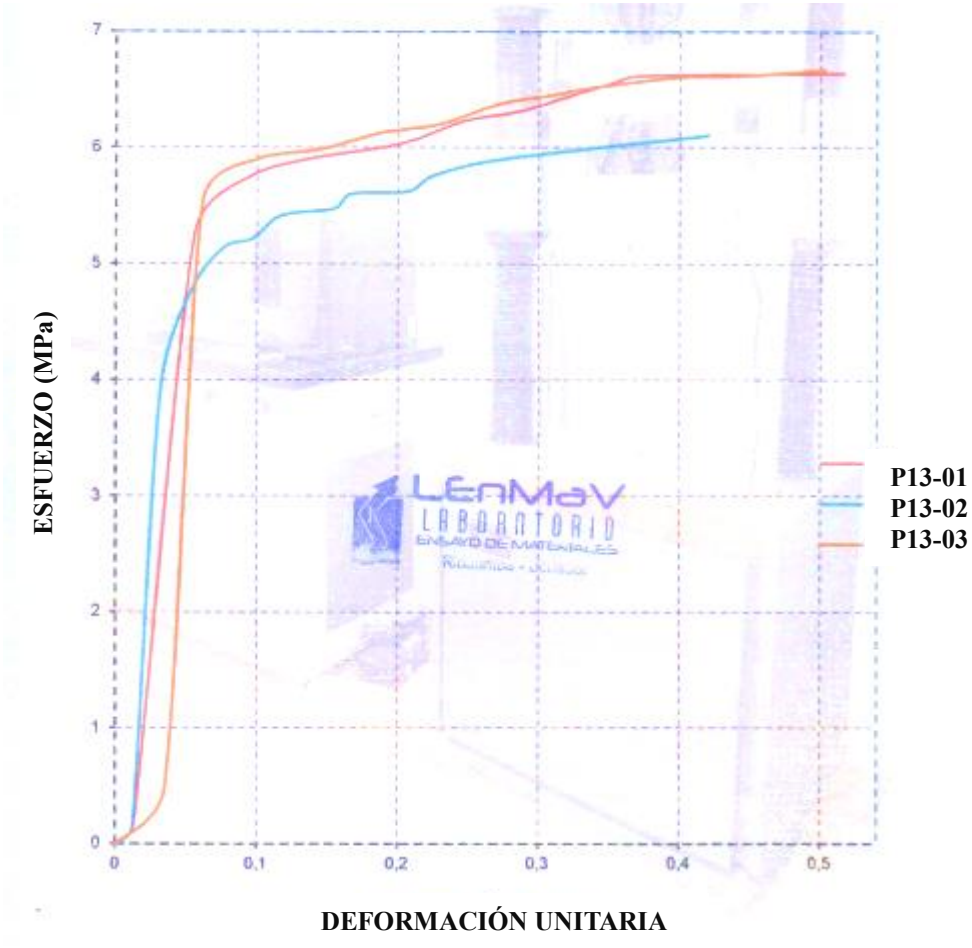
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P13-01	23.52	5.07	5.4	6.229	6.638	108.48
P13-02	38.72	3.87	4.2	5.62	6.1	69.32
P13-03	25.16	5.31	5.6	6.33	6.67	93.58
Promedio	**29.13**	**4.75**	**5.07**	**6.06**	**6.47**	**90.46**

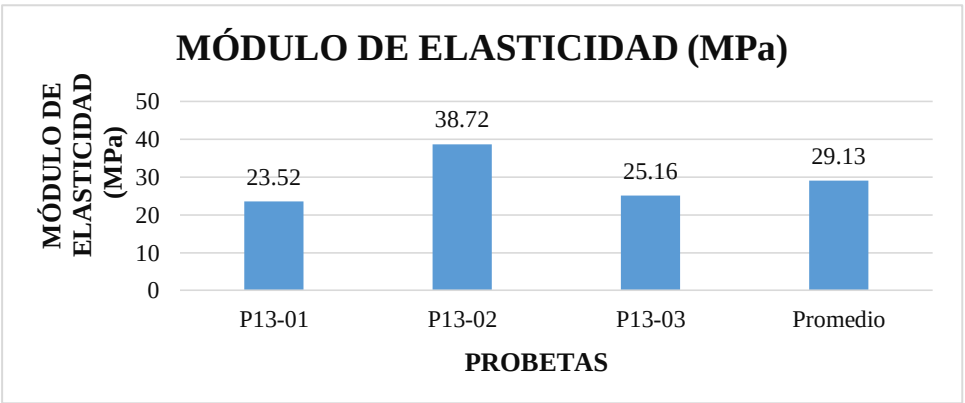
PROBETA ENSAYADA

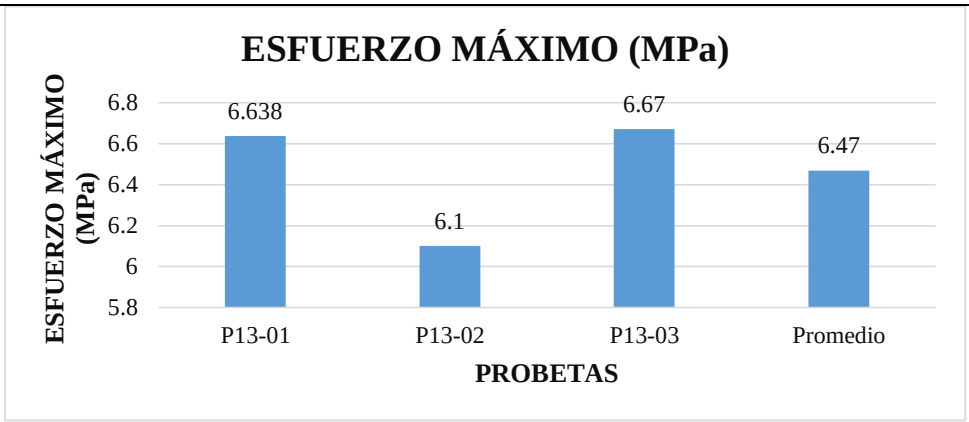


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P13-01, P13-02 y P13-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	6.67	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	90.46	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	29.13	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	6.06	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 27. Ficha Técnica de funda plástica "MEGAMAXI"

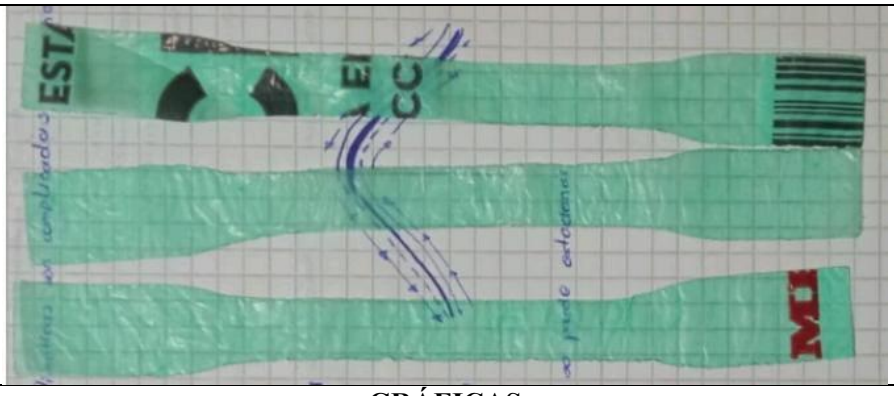
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P14-01 P14-02 P14-03
Fecha de ejecución:	21/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
Marca:	MEGAMAXI- FLEXIPLAST		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Plástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm):	0.04	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

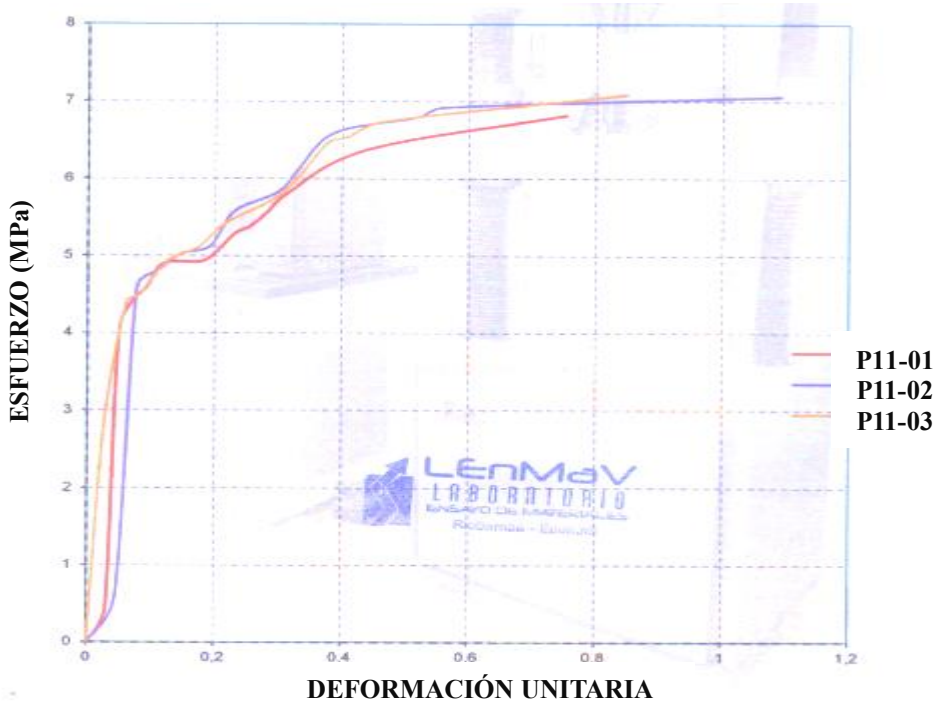
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P14-01	23.5	2.04	4.2	3.316	6.823	54.2
P14-02	21.07	2.21	4.6	3.39	7.07	56.94
P14-03	22.09	2.02	4.2	3.41	7.09	49.96
Promedio	**22.22**	**2.09**	**4.33**	**3.37**	**6.99**	**53.70**

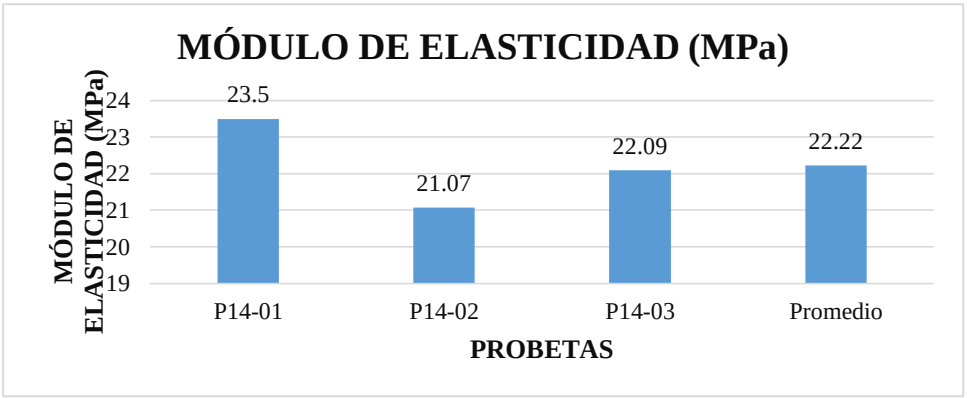
PROBETA ENSAYADA

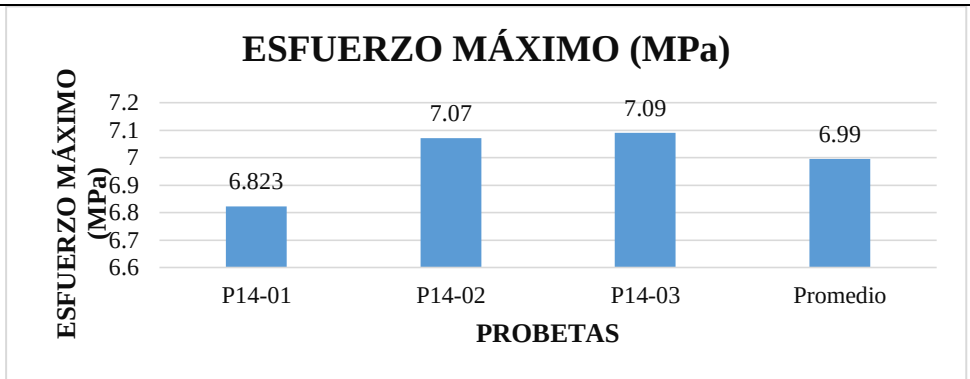


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN			
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P14-01, P14-02 y P14-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	6.99	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	53.70	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	22.22	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	3.37	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 28. Ficha técnica de la funda plástica "PLASTIBAG".

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos			
TRACCIÓN_ASTM D638			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	P15-01 P15-02 P15-03
Fecha de ejecución:	23/05/2024	**Equipo:**	Máquina universal de ensayos JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Lugar:	LenMaV Laboratorio- Riobamba-Ecuador		
Marca:	PLASTIBAG		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Material:	Plástico	**Número de probetas:**	3
Norma:	ASTM D638	**Dimensiones (mm):**	165*19*e
Espesor promedio (mm) :	0.05	**Velocidad de ensayo:**	2 mm/min

RESULTADOS

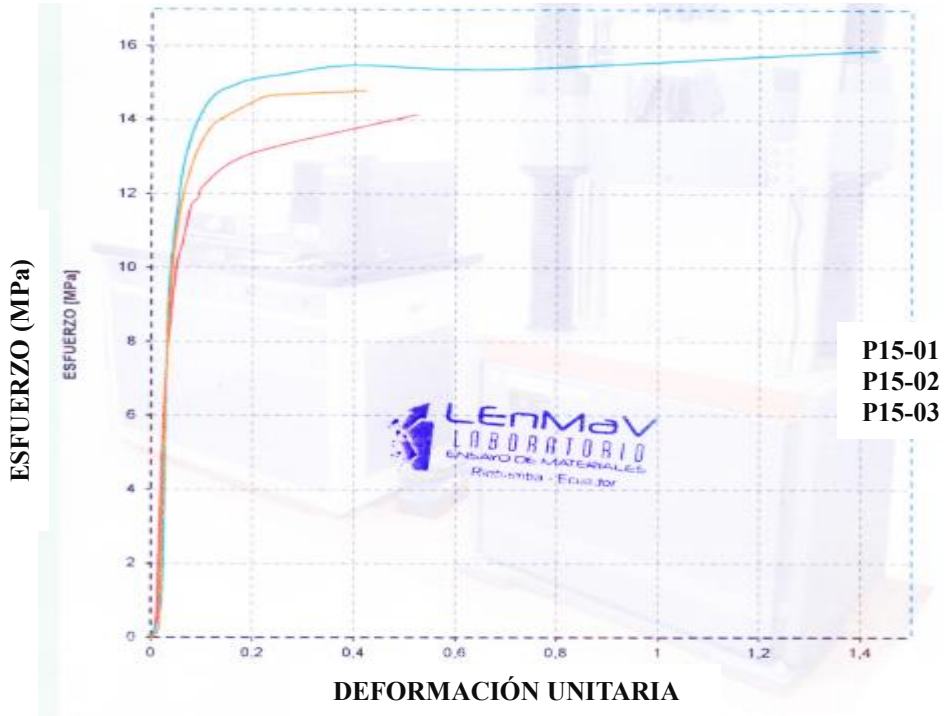
N° probetas	**Módulo de elasticidad (Mpa)**	**Carga de fluencia (N)**	**Esfuerzo de fluencia (Mpa)**	**Carga máxima (N)**	**Esfuerzo máximo (Mpa)**	**Porcentaje de elongación (%)**
P15-01	16.49	5.16	9.1	8.02	14.153	83.02
P15-02	10.13	7.18	12.3	9.29	15.908	113.32
P15-03	13.18	6.27	10.5	8.83	14.789	61.52
Promedio	**13.27**	**6.20**	**10.63**	**8.71**	**14.95**	**85.95**

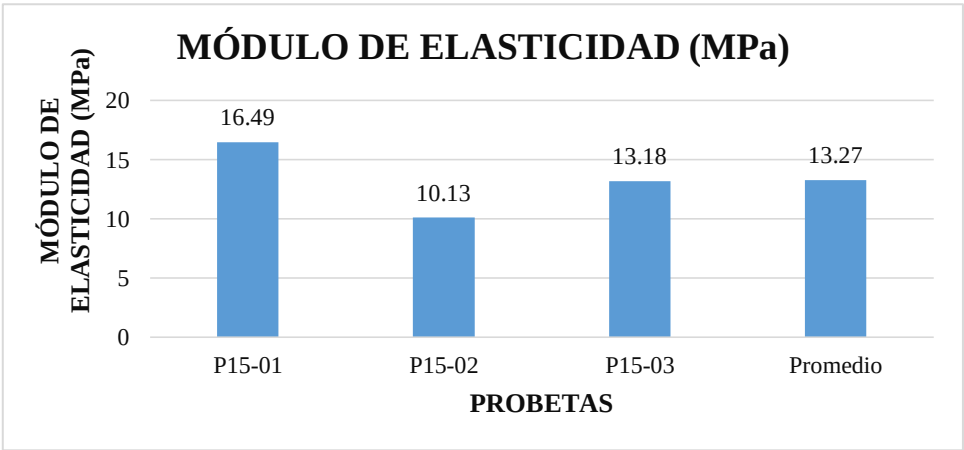
PROBETA ENSAYADA

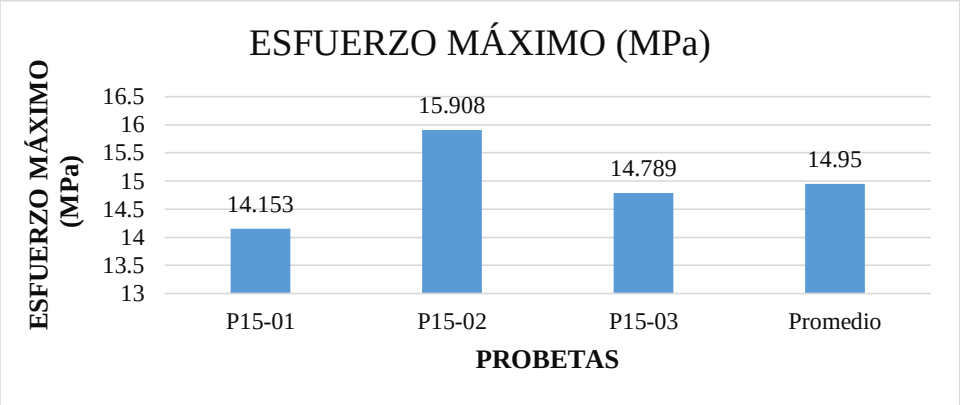


GRÁFICAS

Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria







OBSERVACIÓN			
• En los ensayos de tracción realizadas las probetas P15-01, P15-02 y P15-03 presentan valores similares, es por ello que para el análisis de los resultados se va a trabajar con el promedio de las tres probetas anteriores.			
Valores promedios		**Aprobación y validación**	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	14.95	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
% Elongación:	85.95	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Módulo de elasticidad (MPa):	13.27	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
Carga máxima (N):	8.71	**Validado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

3.1.3. Ficha de recolección de datos de prueba de biodegradabilidad

Tabla 29. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos				
BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	Tierra M01	Aire M01
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1	
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30	
Espesor (mm) :	2.34	**Duración del ensayo (días)**	30	

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DÍAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.92		2.88	
2	2.87	1.57%	2.83	1.74%
4	2.75	5.82%	2.75	4.42%
6	2.69	7.85%	2.70	6.25%
8	2.60	10.99%	2.63	8.68%
10	2.55	12.67%	2.50	13.25%
12	2.42	17.28%	2.45	14.93%
14	2.32	20.42%	2.33	19.15%
16	2.25	22.95%	2.22	22.92%
18	2.14	26.70%	2.16	25.04%
20	2.05	29.84%	2.10	27.08%
22	1.96	32.98%	1.99	30.93%
24	1.90	34.93%	1.93	32.99%
26	1.77	39.27%	1.82	36.82%
28	1.71	41.44%	1.73	39.76%
30	1.59	45.55%	1.65	42.71%

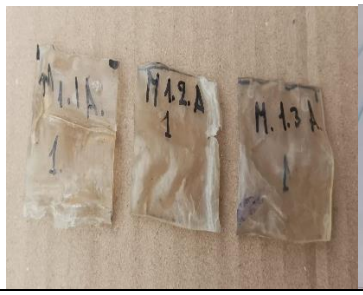
PROBETAS ENSAYADAS

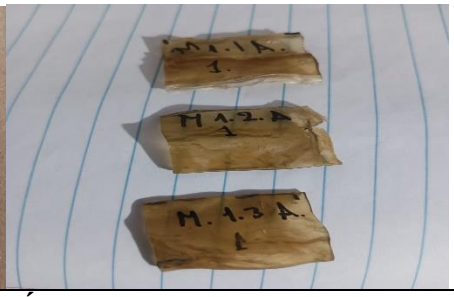
TIERRA





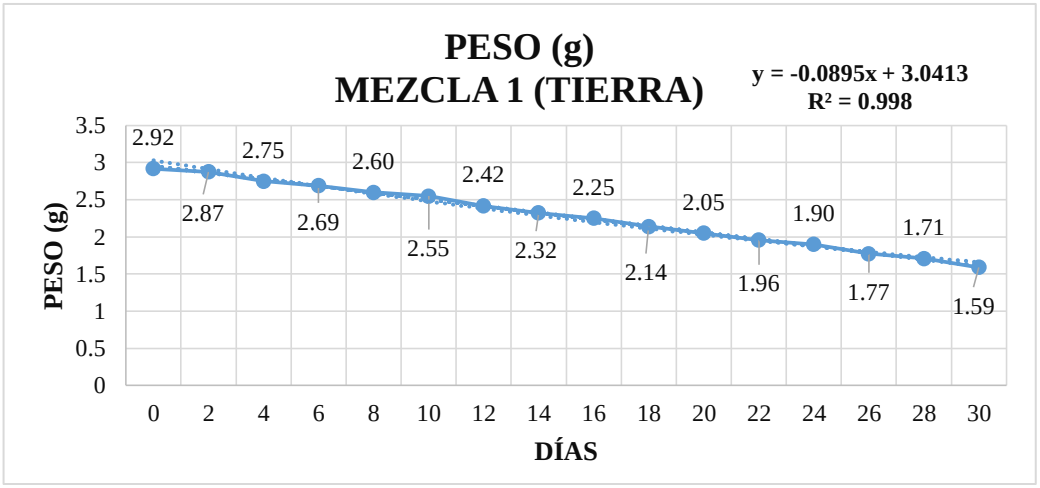
AIRE

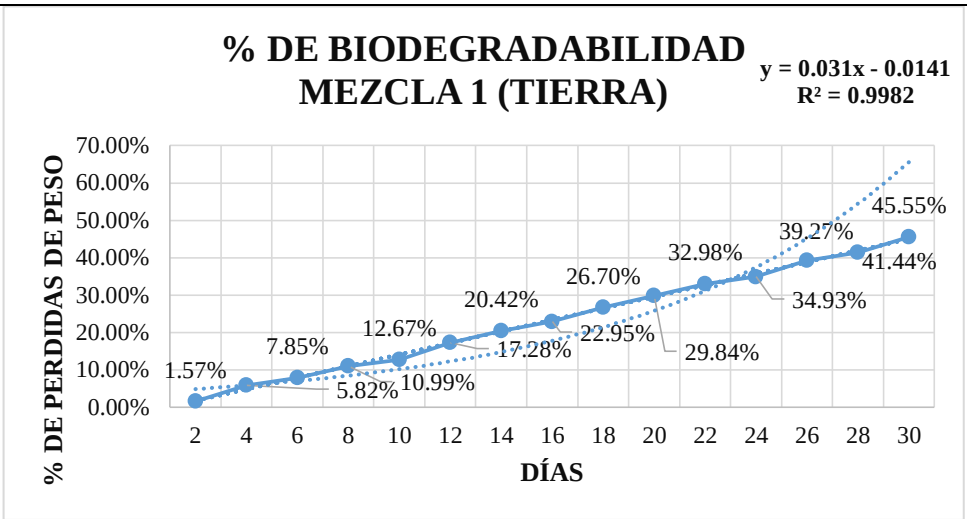




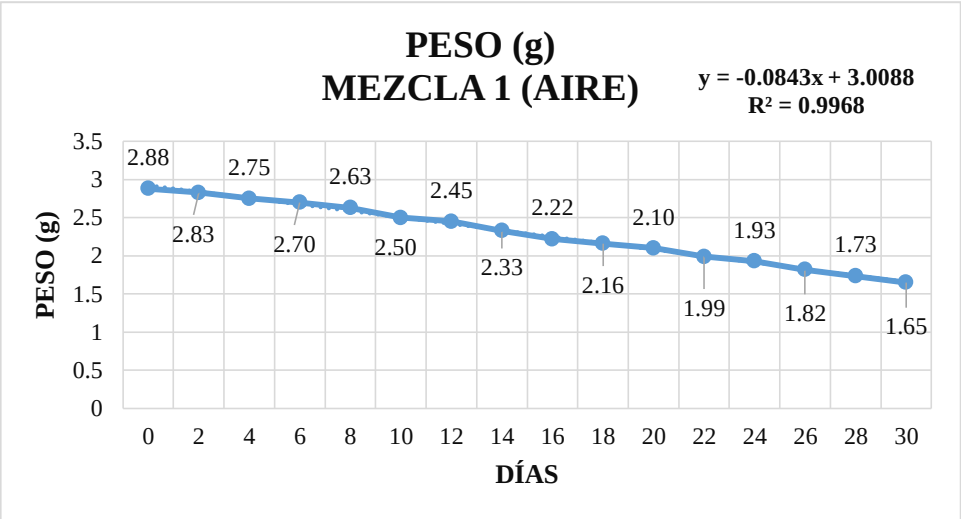
GRÁFICOS

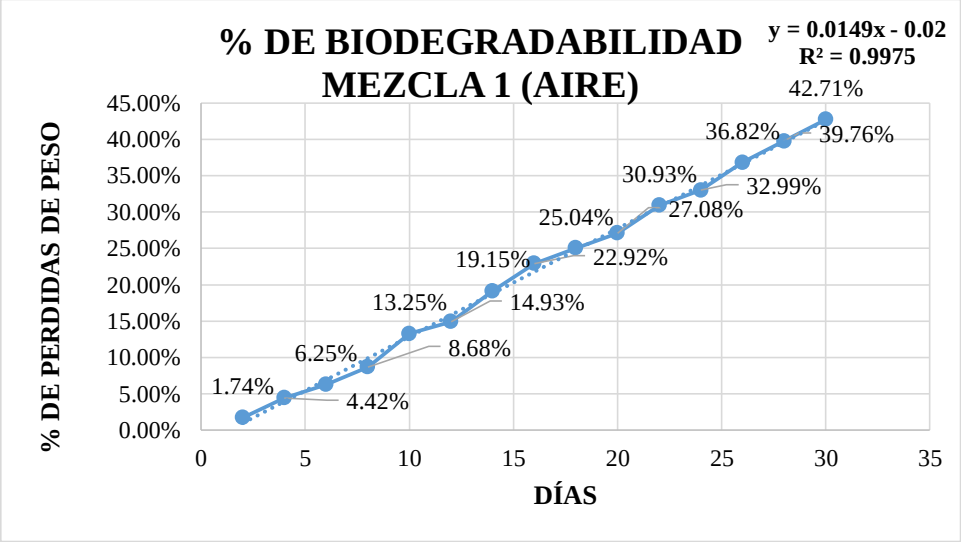
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 45.55% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de

su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 0.59%, es decir que casi cumple el valor estimado bajo la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 42.71% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 3.43%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero su diferencia es mínima, entonces cumple con la norma.

<table>
<tr><th colspan="2">Valores obtenidos</th><th colspan="2">Aprobación y validación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">45.55%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">42.71%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 30. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos				
BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M02	AIRE M02
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1	
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30	
Espesor (mm) :	2.09	**Duración del ensayo (días)**	30	

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DÍAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.11		2.13	
2	2.07	1.86%	2.10	1.41%
4	1.95	7.58%	2.02	5.05%
6	1.91	9.32%	1.93	9.39%
8	1.81	14.22%	1.88	11.79%
10	1.76	16.77%	1.80	15.49%
12	1.69	19.91%	1.75	17.84%
14	1.60	24.22%	1.66	21.89%
16	1.58	25.12%	1.55	27.23%
18	1.44	31.67%	1.52	28.62%
20	1.38	34.60%	1.42	33.33%
22	1.28	39.12%	1.38	35.36%
24	1.20	43.13%	1.33	37.56%
26	1.13	46.58%	1.23	42.09%
28	1.08	48.82%	1.17	45.07%
30	0.97	54.03%	1.09	48.83%

PROBETAS ENSAYADAS

TIERRA





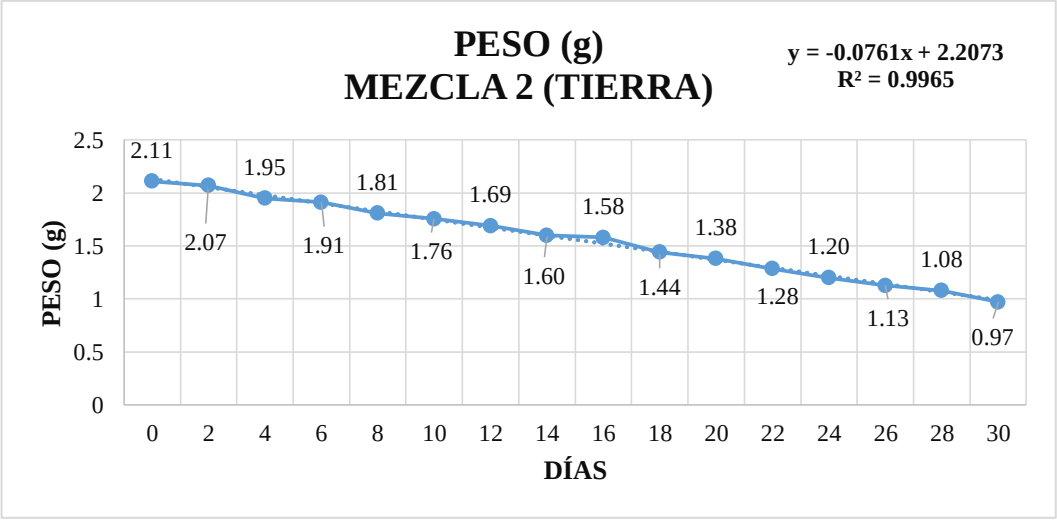
AIRE

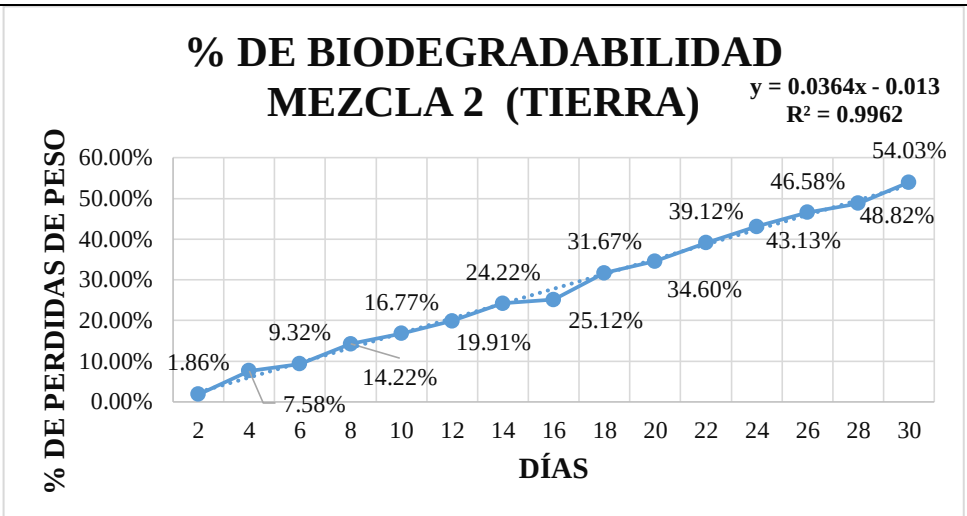




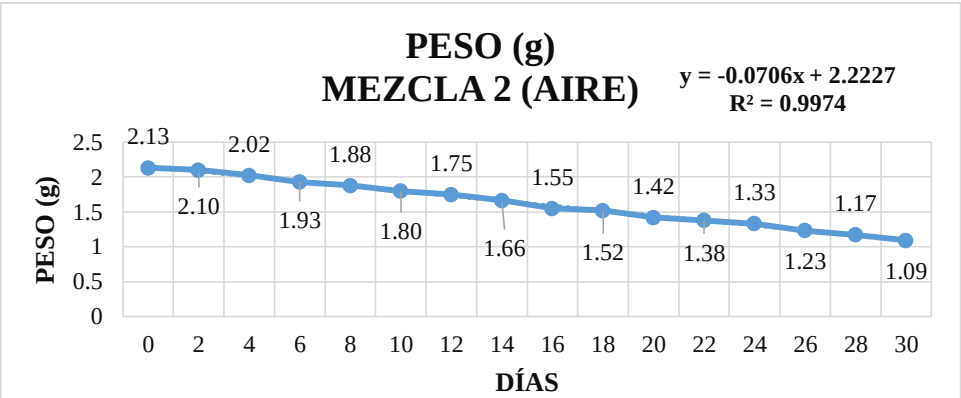
GRÁFICOS

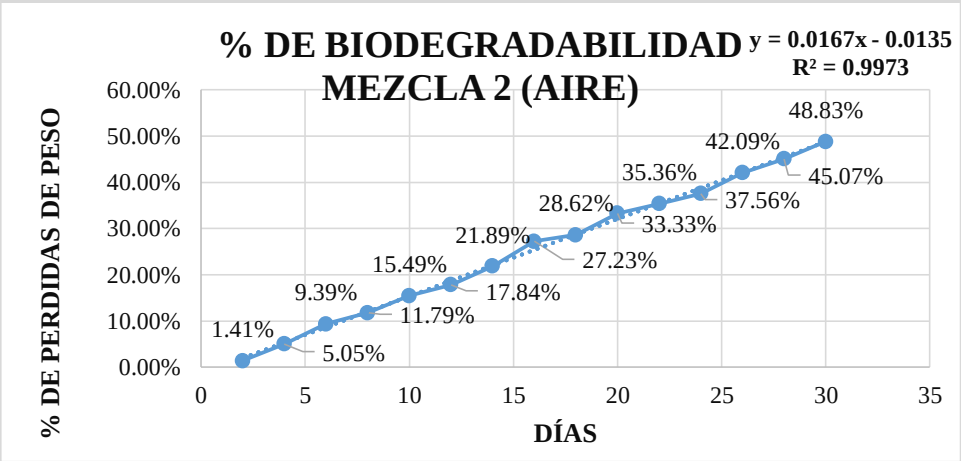
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 54.03% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 7.89%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 58.83% de su valor total en periodo de 30 días.

<table>
<tr><td colspan="4">

- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 2.69%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">54.03%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">58.83%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 31. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos				
BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M_03	AIRE M_03
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1	
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30	
Espesor (mm) :	1.83	**Duración del ensayo (días)**	30	

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.98		2.32	
2	2.20	3.51%	2.28	1.74%
4	2.14	6.08%	2.23	3.88%
6	2.05	10.13%	2.12	8.70%
8	1.91	16.23%	2.05	11.64%
10	1.84	19.30%	1.96	15.65%
12	1.77	22.29%	1.85	20.26%
14	1.68	26.35%	1.80	22.61%
16	1.59	30.40%	1.74	25.00%
18	1.51	33.77%	1.63	29.56%
20	1.42	37.72%	1.58	31.90%
22	1.31	42.56%	1.47	36.52%
24	1.25	45.18%	1.40	39.66%
26	1.12	50.67%	1.31	43.48%
28	1.07	53.07%	1.20	48.28%
30	0.94	58.77%	1.15	50.43%

PROBETAS ENSAYADAS

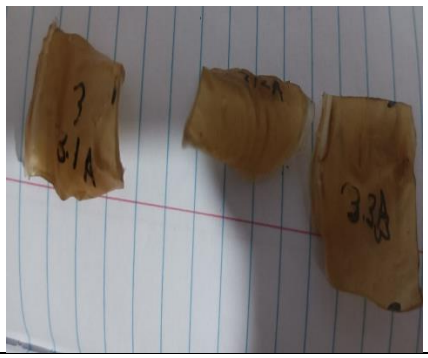
TIERRA





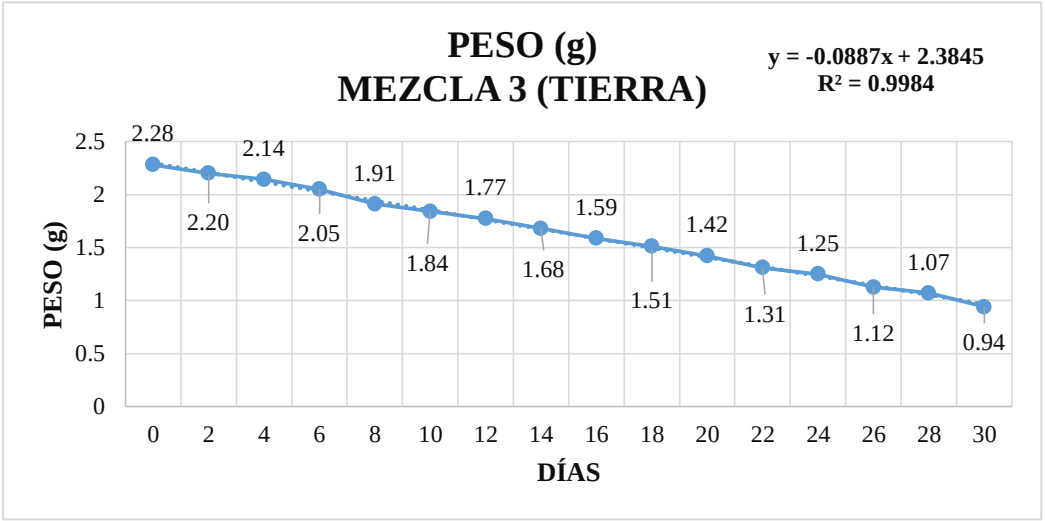
AIRE

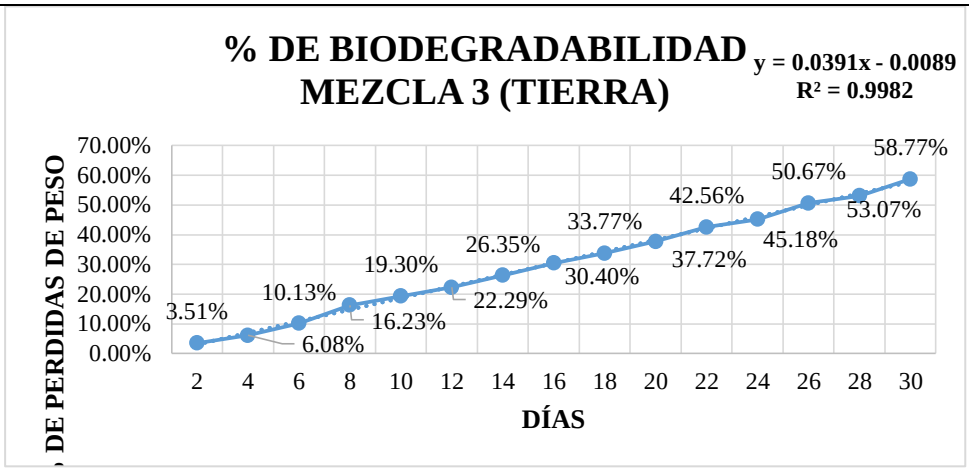




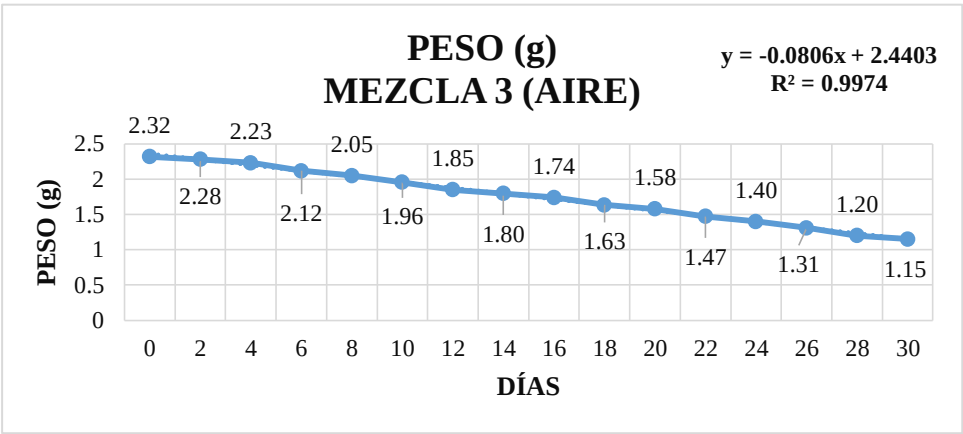
GRÁFICOS

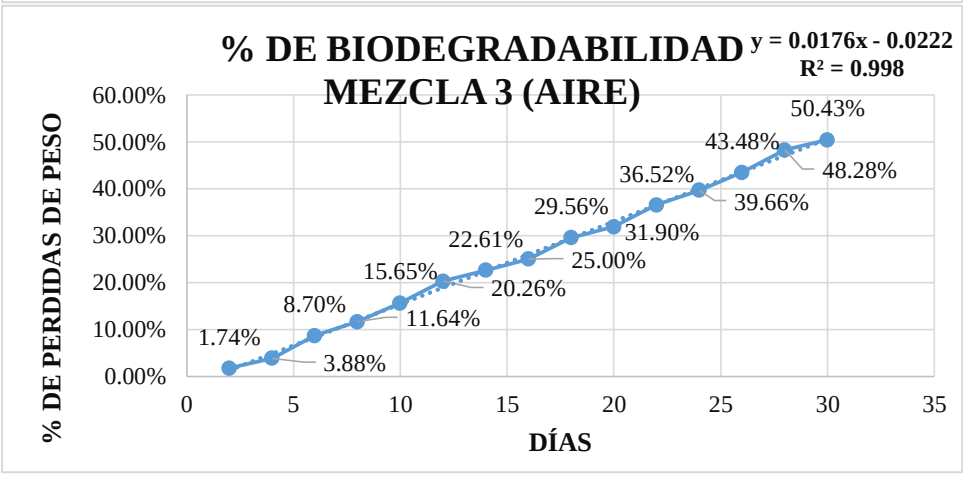
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 58.77% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de Biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 12.63%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

<table>
<tr><td colspan="4">

- La probeta presentó una pérdida de 50.43% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de Biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 4.29%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">58.77%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">50.43%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 32. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 4.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos				
BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M04	AIRE M04
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1	
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30	
Espesor (mm) :	1.65	**Duración del ensayo (días)**	30	

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.40		2.45	M-4
2	2.36	1.67%	2.38	2.86%
4	2.26	5.82%	2.33	4.94%
6	2.19	8.75%	2.23	8.98%
8	2.05	14.58%	2.17	11.53%
10	1.98	17.46%	2.10	14.29%
12	1.89	21.34%	2.05	16.33%
14	1.81	24.58%	1.93	21.41%
16	1.70	29.09%	1.84	24.70%
18	1.63	32.08%	1.80	26.53%
20	1.52	36.85%	1.68	31.29%
22	1.45	38.58%	1.57	35.92%
24	1.33	44.61%	1.52	37.87%
26	1.28	46.67%	1.45	40.82%
28	1.14	52.37%	1.36	44.46%
30	1.05	56.25%	1.28	47.76%

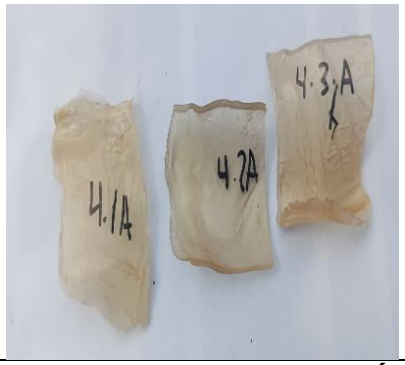
PROBETAS ENSAYADAS

TIERRA





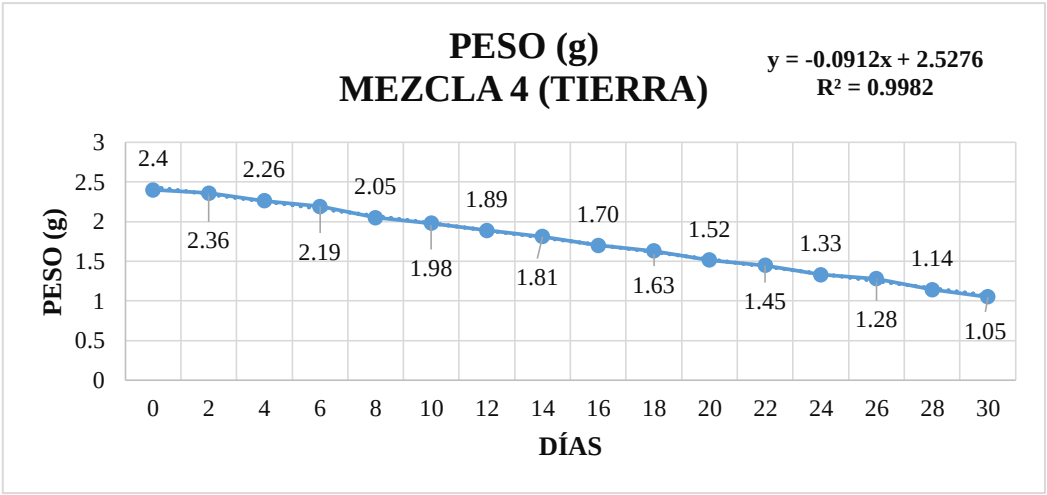
AIRE

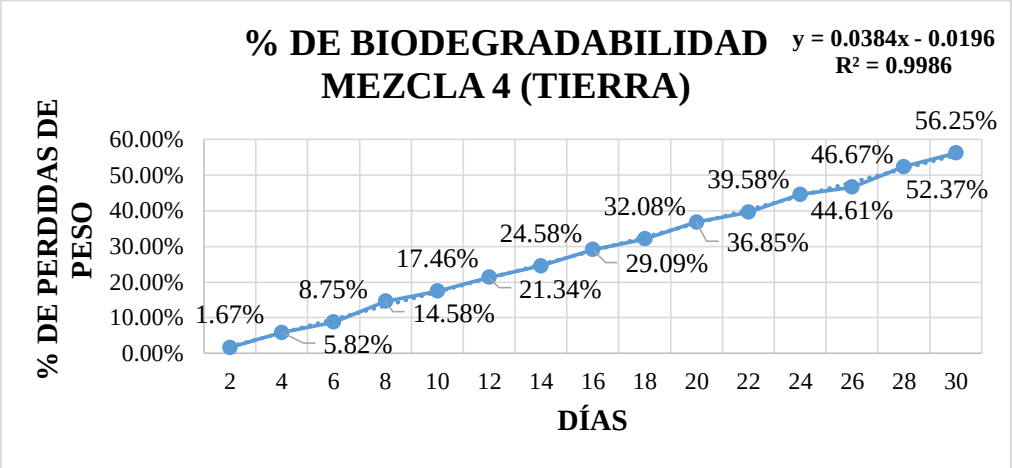




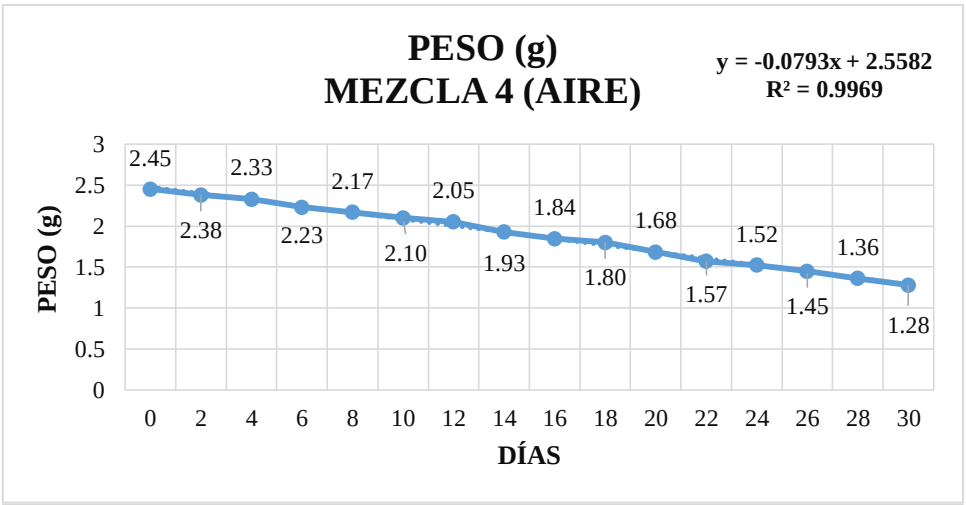
GRÁFICOS

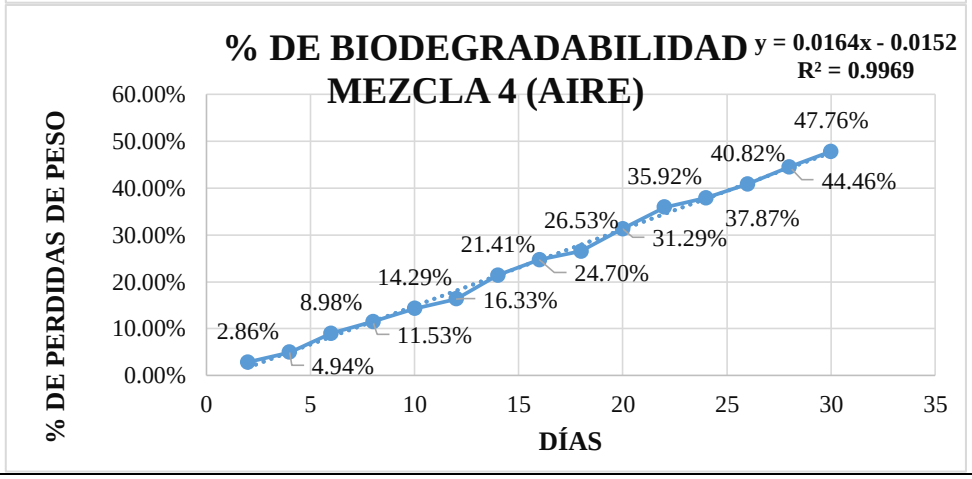
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 56.25% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de Biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 10.11%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 47.76% de su valor total en periodo de 30 días.

<table>
<tr><td colspan="4">

- La prueba de Biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 1.62%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">56.25%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">47.76%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 33. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 5.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos

BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M05	AIRE M05
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30
Espesor (mm) :	1.83	**Duración del ensayo (días)**	30

RESULTADOS

	TIERRA		AIRE	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.93		2.81	
2	2.85	2.73%	2.76	1.67%
4	2.76	5.72%	2.70	3.91%
6	2.68	8.53%	2.58	8.34%
8	2.56	12.63%	2.50	11.03%
10	2.48	15.36%	2.39	15.02%
12	2.35	19.80%	2.29	18.36%
14	2.28	22.18%	2.25	19.93%
16	2.13	25.94%	2.11	25.03%
18	2.01	31.40%	2.01	28.37%
20	1.87	36.22%	1.95	30.60%
22	1.72	41.30%	1.83	35.05%
24	1.67	43.85%	1.73	38.39%
26	1.58	46.08%	1.68	40.21%
28	1.42	51.48%	1.54	45.06%
30	1.31	55.29%	1.45	48.40%

PROBETAS ENSAYADAS

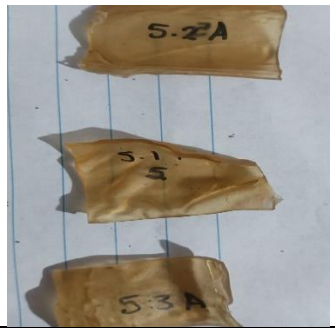
TIERRA





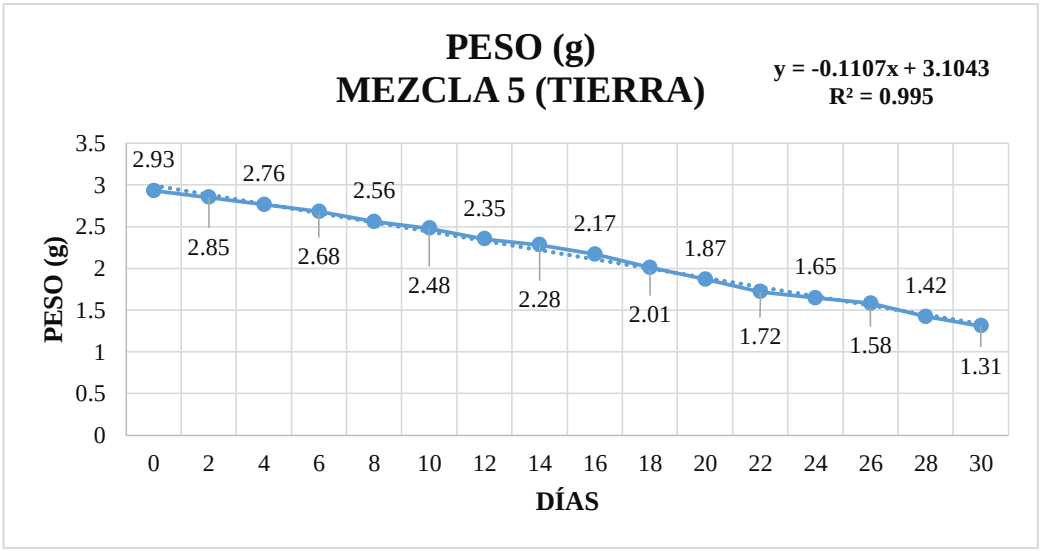
AIRE

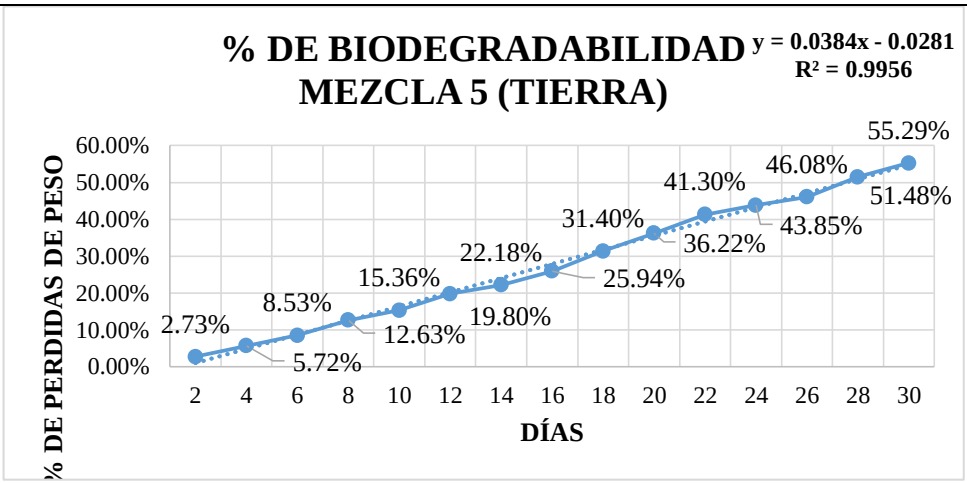




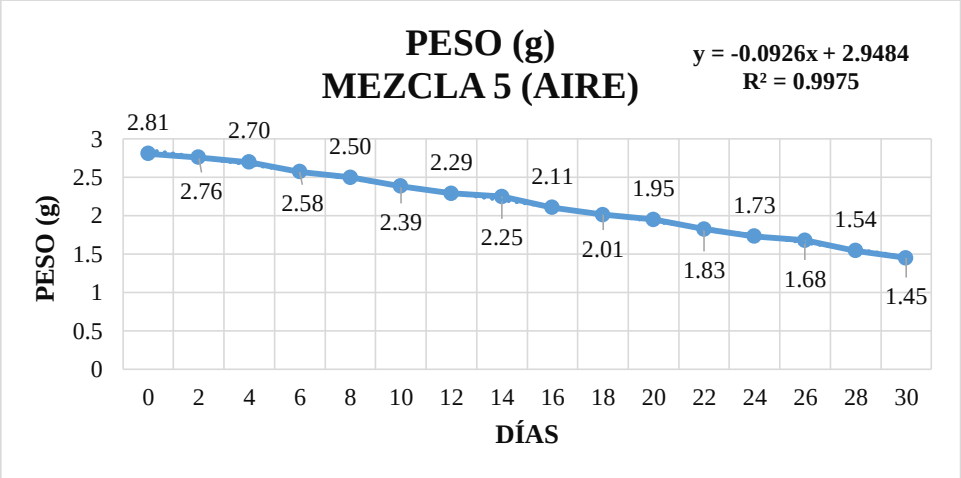
GRÁFICOS

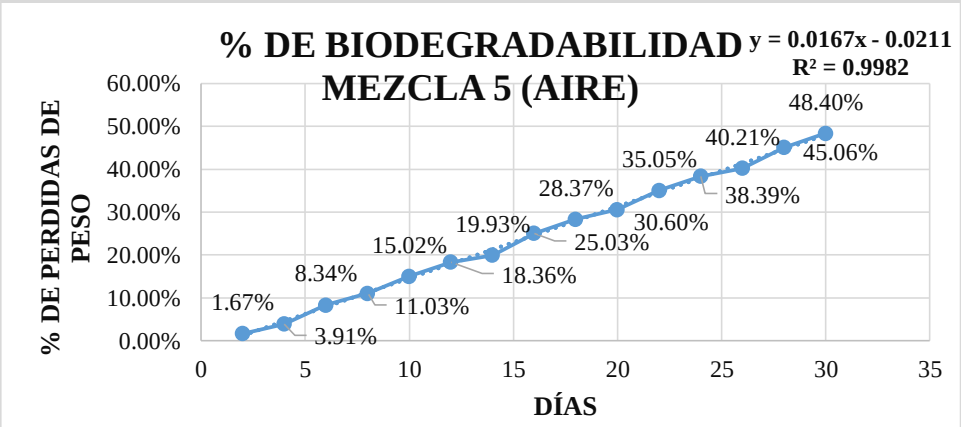
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 55.29% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 9.17%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 48.40% de su valor total en periodo de 30 días.

<table>
<tr><td colspan="4">

- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 2.26%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">55.29%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">48.40%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 34. Ficha técnica del bioplástico para prueba de Biodegradabilidad- Mezcla 6.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos

BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M06	AIRE M06
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30
Espesor (mm):	2.15	**Duración del ensayo (días)**	30

RESULTADOS

	TIERRA		AIRE	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.72		2.79	
2	2.68	1.45%	2.75	1.41%
4	2.61	4.04%	2.67	4.23%
6	2.55	6.25%	2.60	6.81%
8	2.48	8.82%	2.51	9.86%
10	2.37	13.01%	2.40	13.98%
12	2.30	15.44%	2.36	15.50%
14	2.22	18.38%	2.29	17.92%
16	2.13	21.68%	2.20	21.13%
18	2.07	23.90%	2.15	22.94%
20	1.97	27.46%	2.04	26.77%
22	1.91	29.78%	1.96	29.59%
24	1.82	33.24%	1.87	32.97%
26	1.75	35.66%	1.81	35.22%
28	1.66	39.02%	1.73	38.04%
30	1.58	41.91%	1.65	40.86%

PROBETAS ENSAYADAS

TIERRA





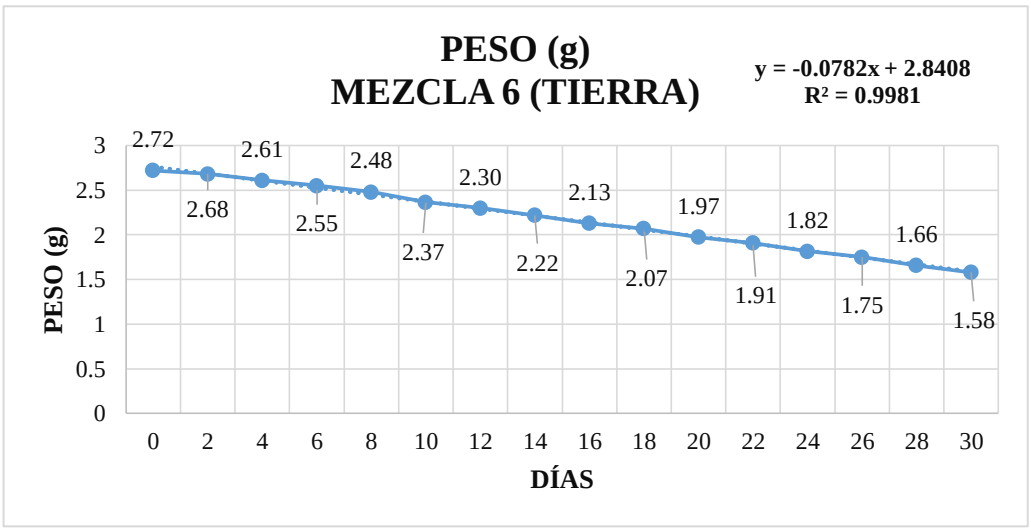
AIRE

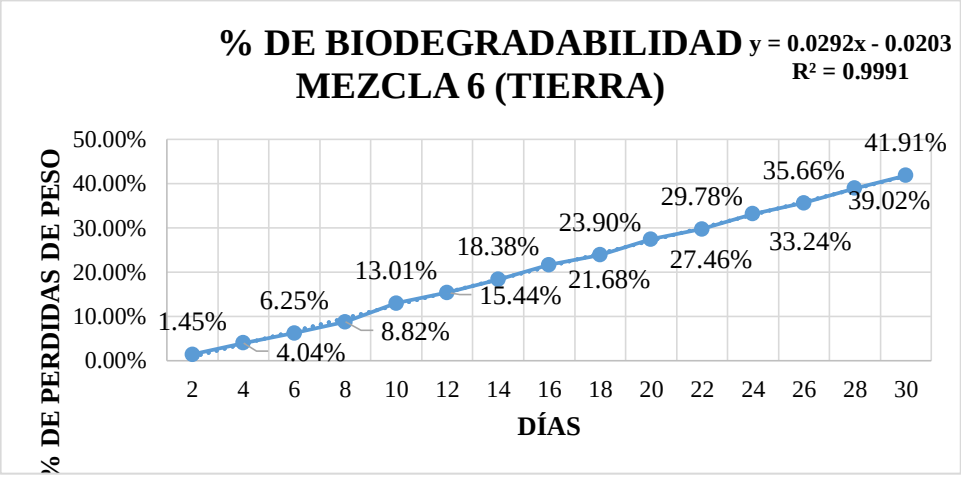




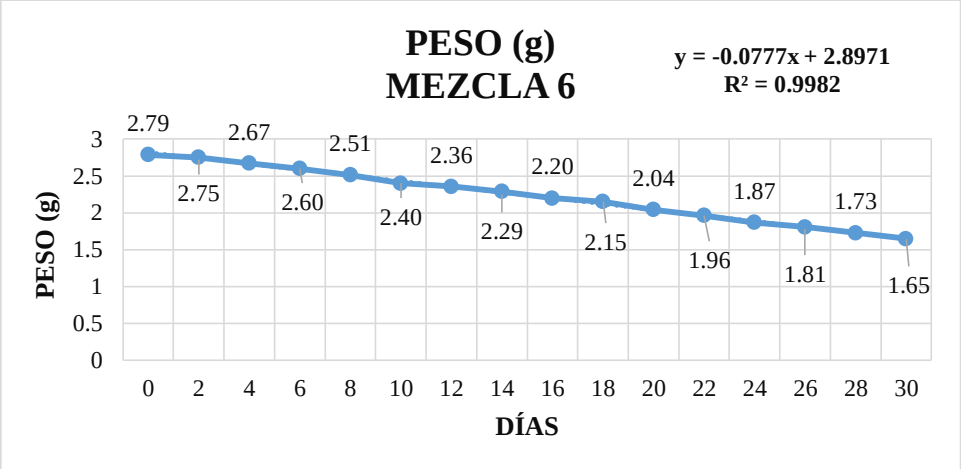
GRÁFICOS

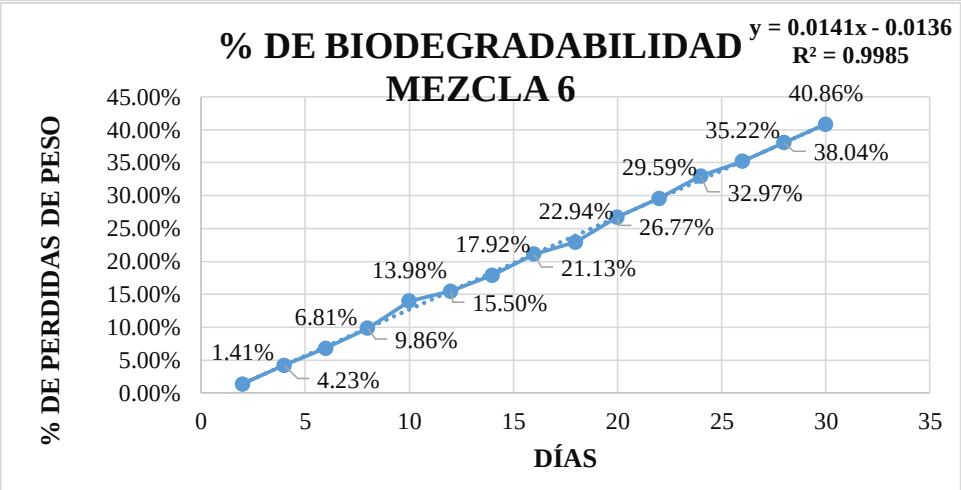
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 41.91% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de Biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 4.23%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero su diferencia es mínima.

AIRE

<table>
<tr><td colspan="4">

- La probeta presentó una pérdida de 40.86% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 5.28%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero la diferencia es mínima.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">41.91%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">40.86%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 35.Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 7.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos

BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M07	AIRE M07
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30
Espesor (mm):	1.64	**Duración del ensayo (días)**	30

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.11		2.23	
2	2.05	2.08%	2.19	1.65%
4	1.99	5.64%	2.15	3.59%
6	1.93	8.53%	2.05	8.27%
8	1.88	10.90%	2.00	10.31%
10	1.75	16.91%	1.90	14.89%
12	1.70	19.43%	1.85	17.04%
14	1.60	24.17%	1.75	21.51%
16	1.53	27.49%	1.67	25.11%
18	1.44	31.95%	1.60	28.13%
20	1,39	34.12%	1.51	32.29%
22	1.28	39.47%	1.46	34.75%
24	1.24	41.23%	1.41	36.77%
26	1.12	46.98%	1.31	41.36%
28	1.07	49.29%	1.25	43.95%
30	0.96	54.90%	1.16	47.98%

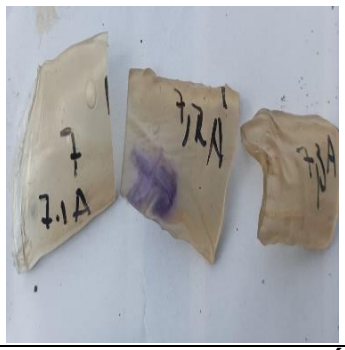
PROBETAS ENSAYADAS

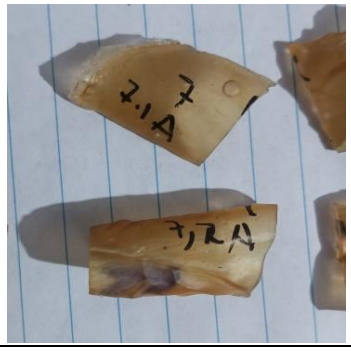
TIERRA





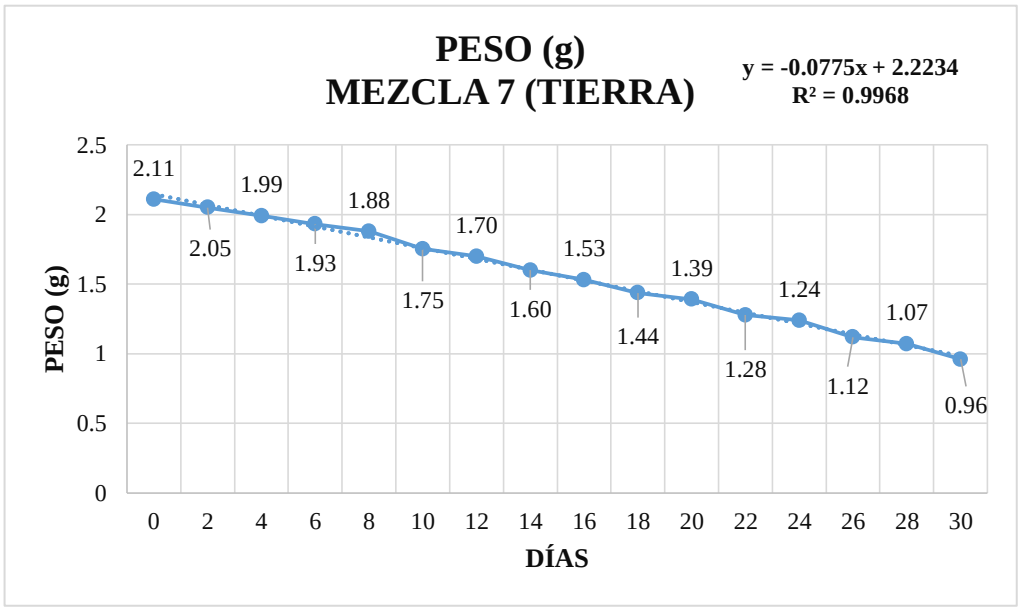
AIRE

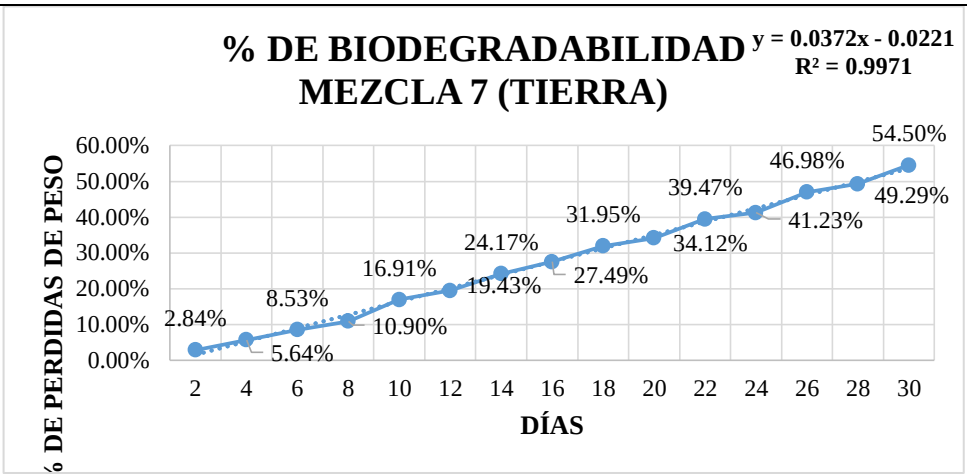




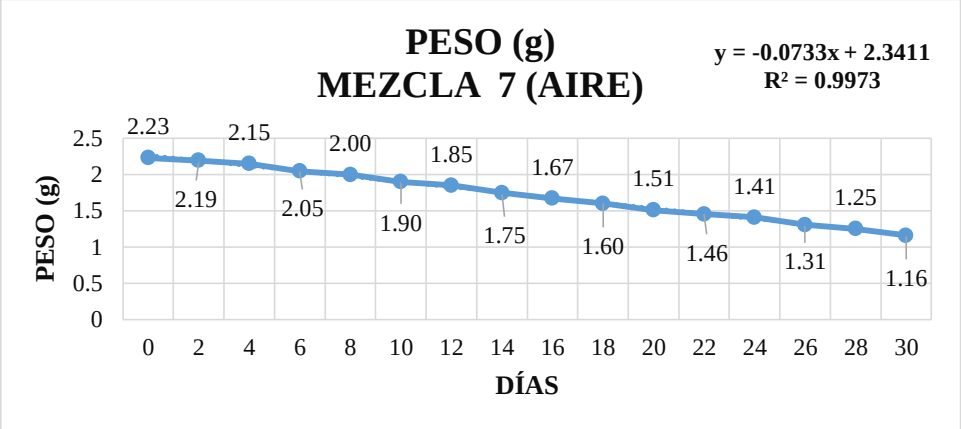
GRÁFICOS

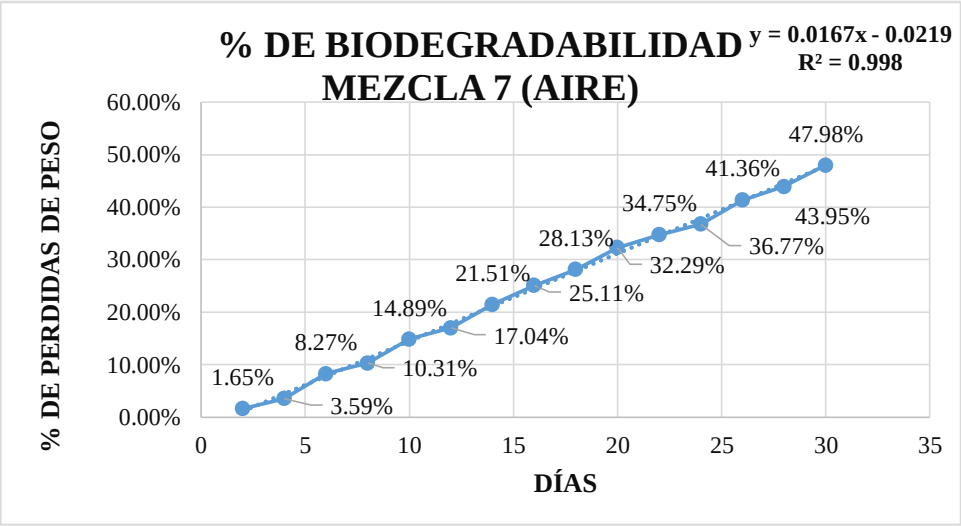
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 54.50% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 8.36%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 47.98% de su valor total en periodo de 30 días.

<table>
<tr><td colspan="4">

- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 1.84%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">54.90%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">47.98%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 36.Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 8.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos

BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M08	AIRE M08
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30
Espesor (mm):	1.69	**Duración del ensayo (días)**	30

RESULTADOS

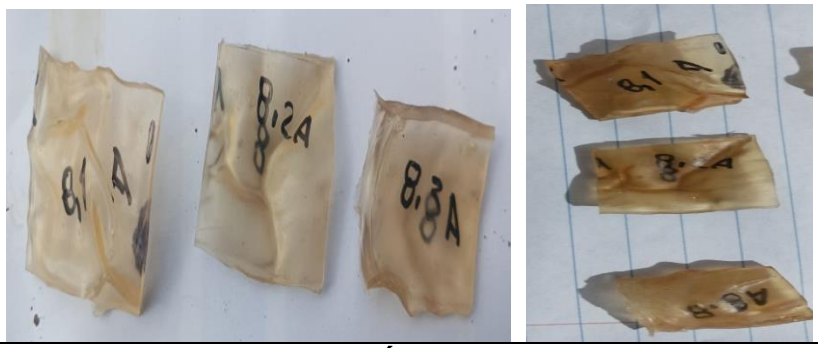
	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.59		2.67	
2	2.53	2.32%	2.63	1.49%
4	2.47	4.55%	2.55	4.46%
6	2.40	7.34%	2.51	5.99%
8	2.31	10.62%	2.39	10.40%
10	2.27	12.36%	2.33	12.73%
12	2.16	16.70%	2.23	16.34%
14	2.09	19.31%	2.19	17.98%
16	2.00	22.77%	2.08	22.28%
18	1.90	26.64%	2.04	23.60%
20	1.84	28.84%	1.92	28.22%
22	1.83	29.34%	1.83	31.46%
24	1.69	34.91%	1.76	34.16%
26	1.64	36.68%	1.67	37.45%
28	1.53	40.98%	1.60	40.10%
30	1.45	44.02%	1.52	43.07%

PROBETAS ENSAYADAS

TIERRA

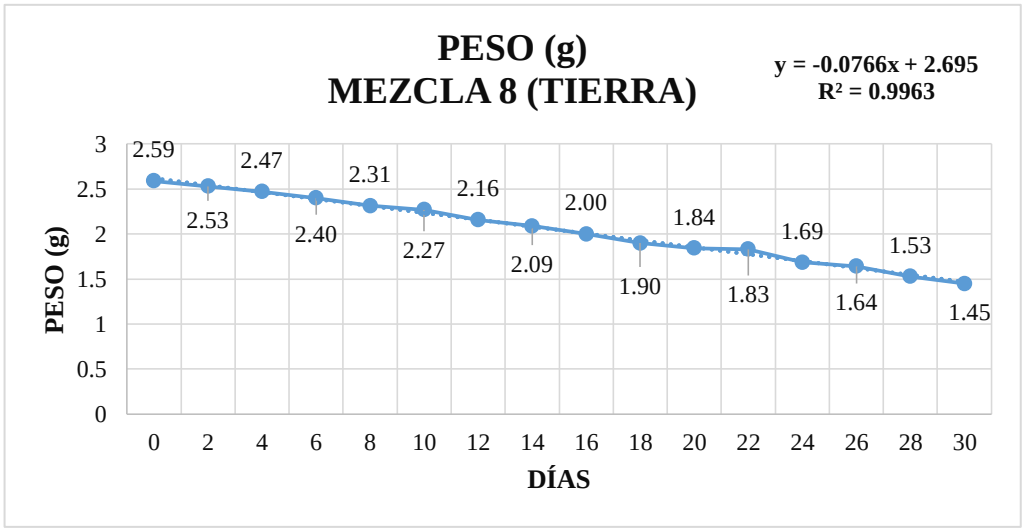


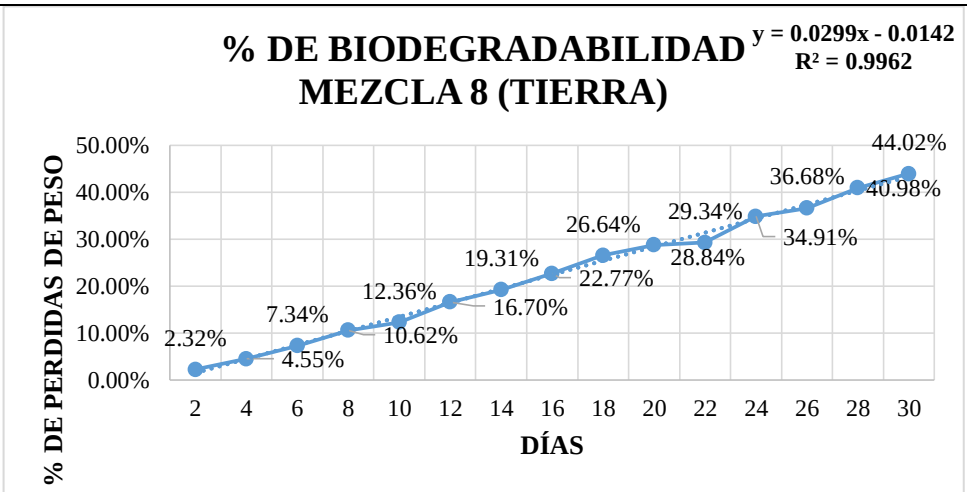
AIRE



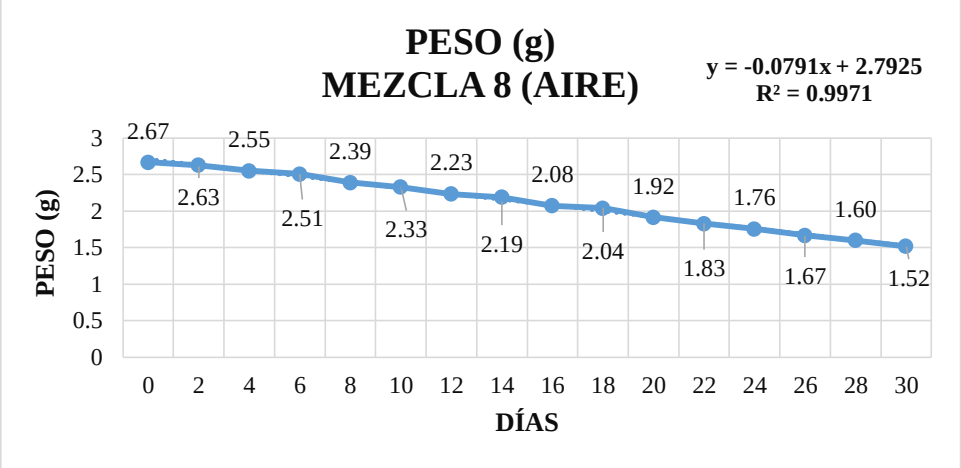
GRÁFICOS

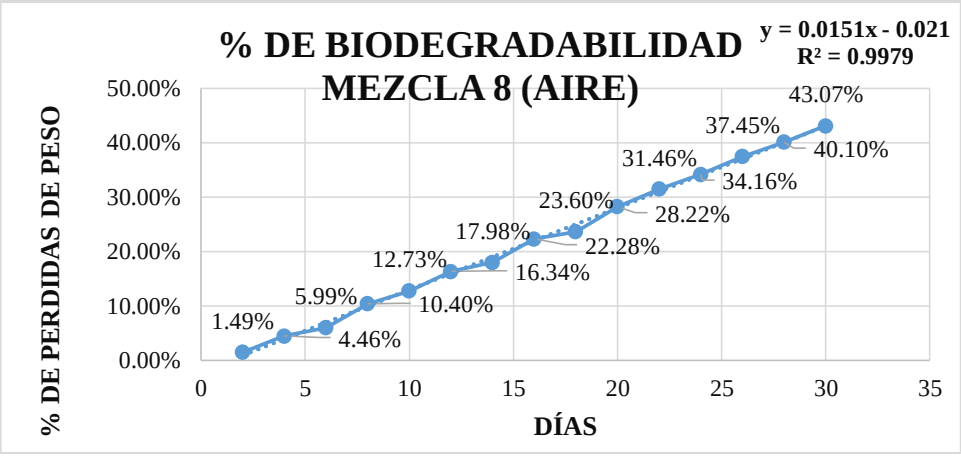
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 44.02% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 0.12%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero la diferencia es mínima, entonces cumple con la norma.

AIRE

- La probeta presentó una pérdida de 43.07% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 3.07%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero su diferencia es mínima.

Valores obtenidos		**Aprobación y validación**	
TIERRA % de pérdida de peso en 30 días	44.02%	**Elaborado por:**	Nelly Tocalema
		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
AIRE % de pérdida de peso en 30 días	43.07%	**Aprobado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.
		Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.

Fuente: [Autor].

Tabla 37. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 9.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos				
BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M09	AIRE M09
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1	
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30	
Espesor (mm):	1.59	**Duración del ensayo (días)**	30	

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.67		2.53	
2	2.60	2.62%	2.48	1.84%
4	2.52	5.77%	2.42	4.35%
6	2.45	8.24%	2.30	9.20%
8	2.31	13.47%	2.25	11.07%
10	2.26	15.36%	2.11	16.56%
12	2.15	19.48%	1.99	21.34%
14	2.02	24.34%	1.92	23.92%
16	1.90	28.86%	1.83	27.60%
18	1.85	30.71%	1.78	29.64%
20	1.69	36.56%	1.65	34.96%
22	1.63	38.95%	1.55	38.64%
24	1.49	44.26%	1.41	44.27%
26	1.35	49.44%	1.37	46.00%
28	1.28	51.96%	1.25	50.59%
30	1.18	55.81%	1.18	53.36%

PROBETAS ENSAYADAS

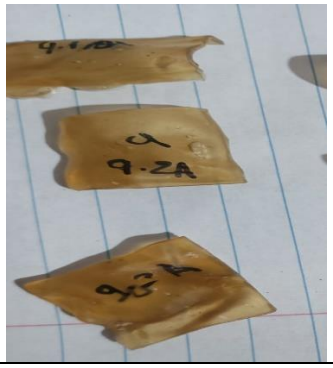
TIERRA





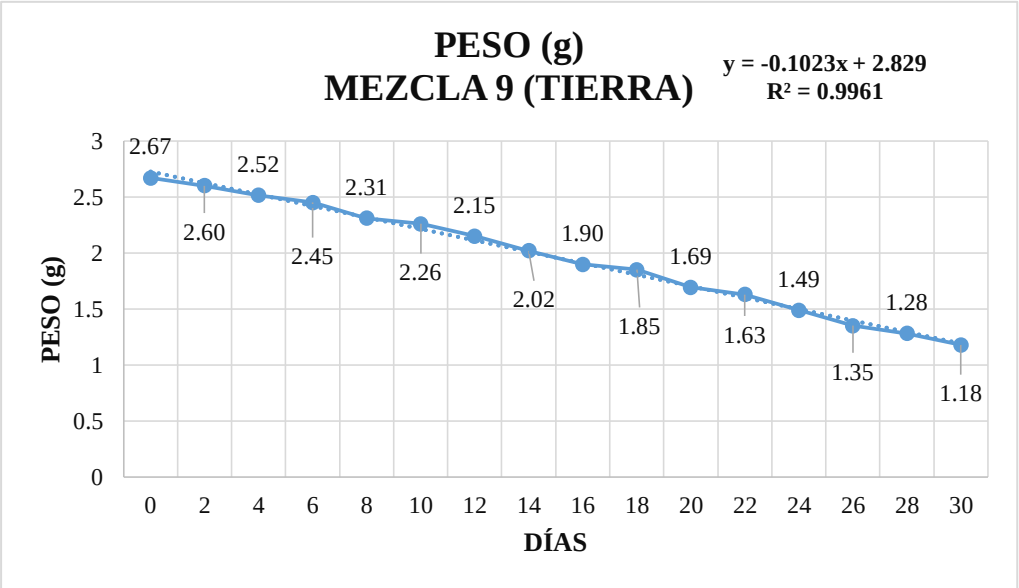
AIRE

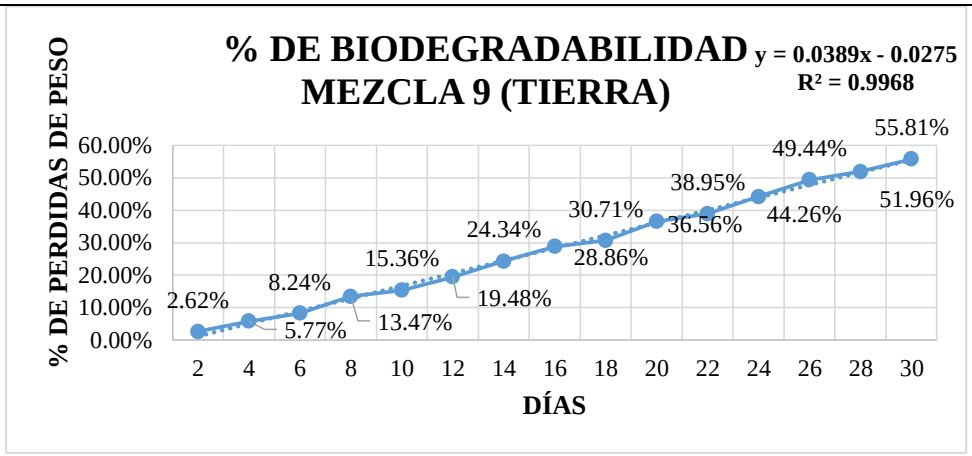




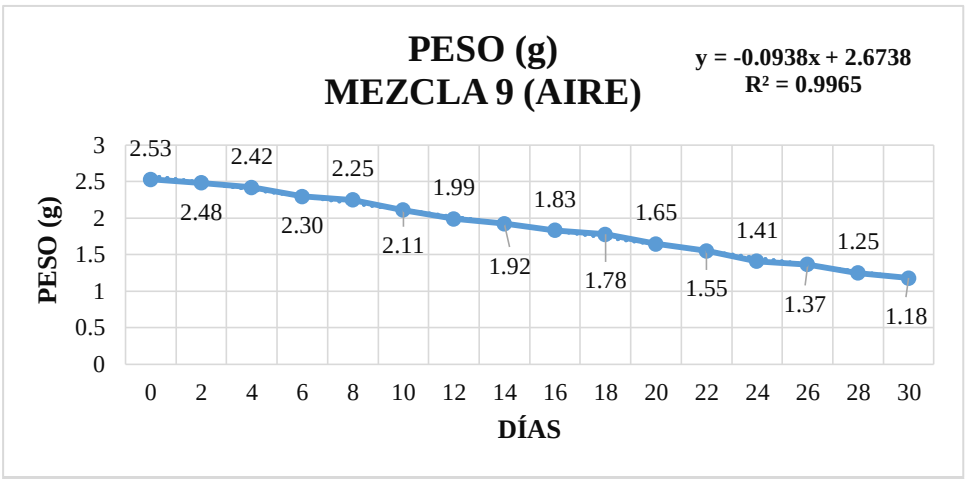
GRÁFICOS

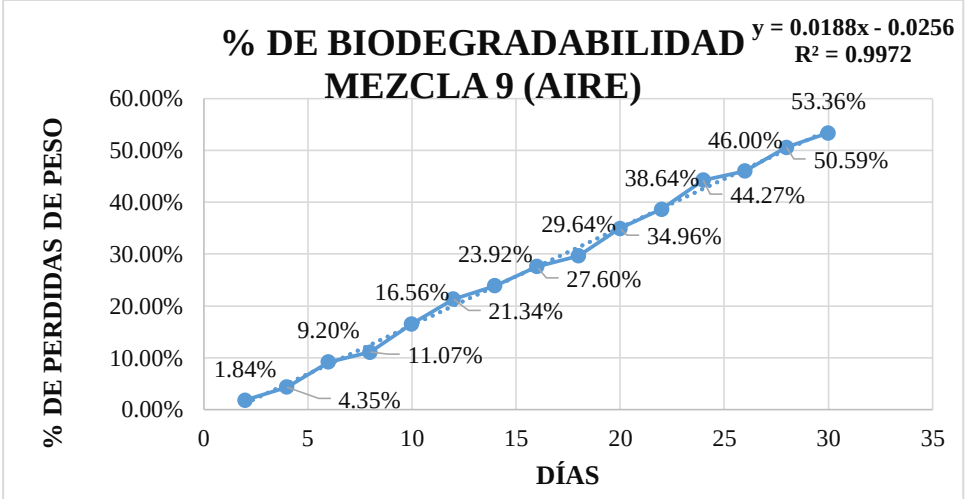
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 55.81% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 9.67%, estando por encima del valor establecido por la norma.

AIRE

<table>
<tr><td colspan="4">

- La probeta presentó una pérdida de 53.36% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 7.22%, estando por encima del valor establecido por la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">55.81%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">53.36%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

Tabla 38. Ficha técnica del bioplástico para prueba de biodegradabilidad- Mezcla 10.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Ficha de recolección de datos

BIODEGRADABILIDAD INTE ISO 14855-1

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	**Codificacion:**	TIERRA M10	AIRE M10
Realizado por:	Tocalema Tisalema Nelly Marisol	**Revisado por:**	Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.	
Lugar:	Ambato.Ecuador			

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material:	Bioplástico	**Número de probetas:**	1
Norma:	INTE ISO 14855-1	**Dimensiones (mm):**	30X30
Espesor (mm):	2.07	**Duración del ensayo (días)**	30

RESULTADOS

	TIERRA		**AIRE**	
DIAS DE PRUEBA	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**	**PESO (g)**	**% DE PÉRDIDA DE PESO**
PESO INICIAL	2.91		3.01	
2	2.87	1.35%	2.97	1.28%
4	2.81	3.44%	2.91	3.32%
6	2.75	5.505	2.82	6.42%
8	2.65	8.93%	2.74	8.98%
10	2.56	12.16%	2.70	10.30%
12	2.50	14.09%	2.59	14.11%
14	2.40	17.56%	2.51	16.68%
16	2.35	19.245	2.46	18.27%
18	2.24	22.96%	2.35	21.81%
20	2.18	25.09%	2.29	23.92%
22	2.08	28.37%	2.21	26.58%
24	1.99	31.62%	2.11	29.90%
26	1.93	33.77%	2.08	30.90%
28	1.87	35.74%	1.95	35.22%
30	1.77	39.18%	1.89	37.21%

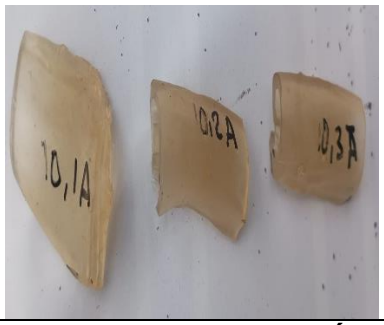
PROBETAS ENSAYADAS

TIERRA





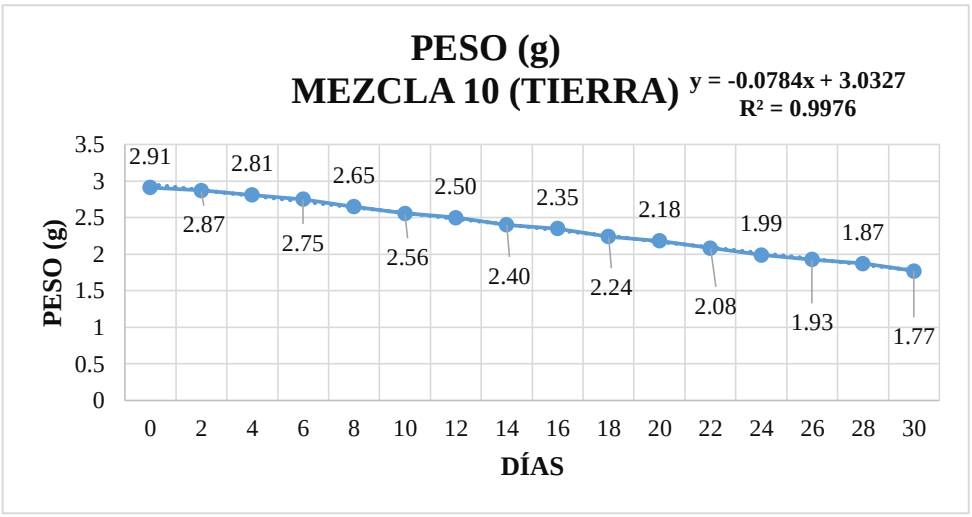
AIRE

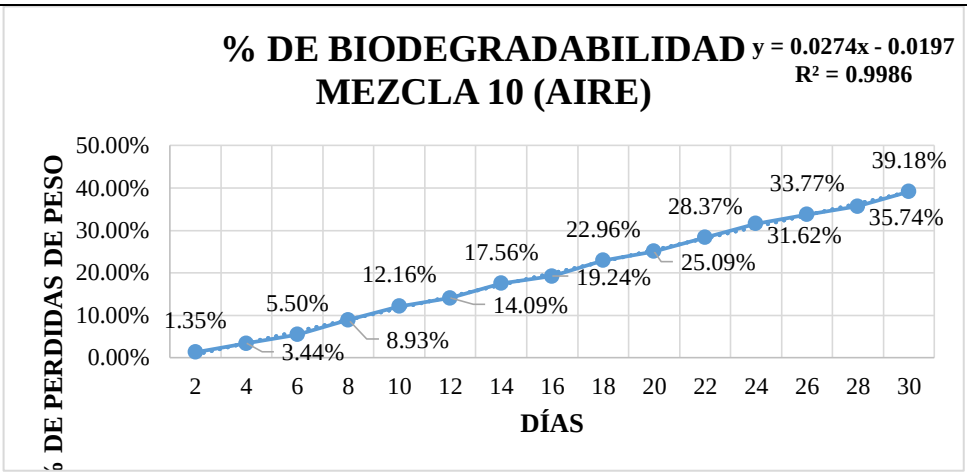




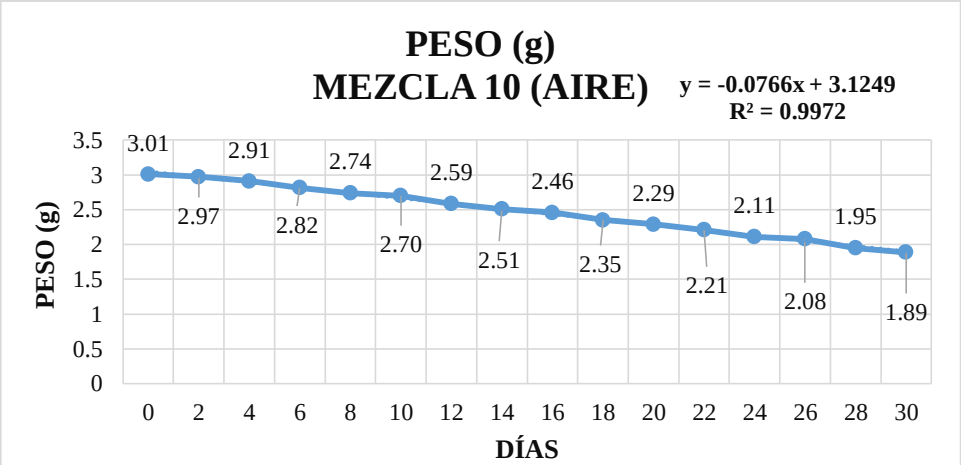
GRÁFICOS

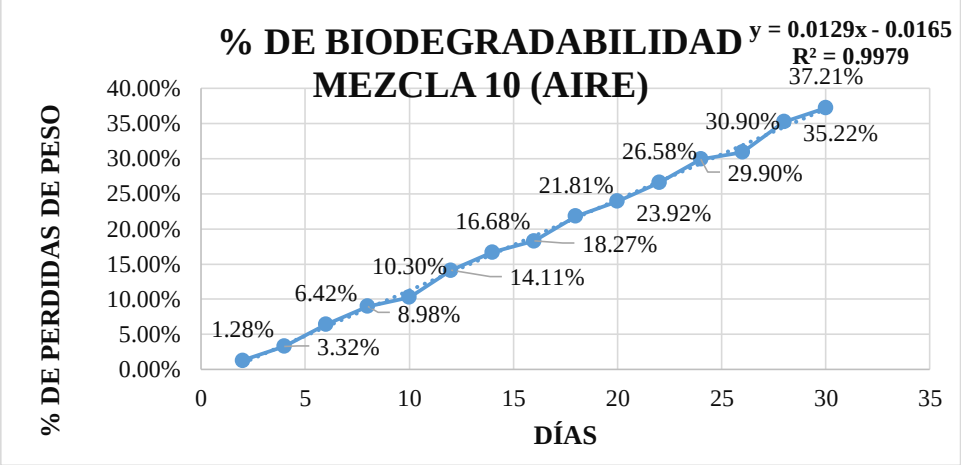
TIERRA





AIRE





OBSERVACIONES

TIERRA

- La probeta presentó una pérdida de 39.18% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 6.96%, estando por debajo del valor establecido por la norma, pero los valores son mínimos.

AIRE

<table>
<tr><td colspan="4">

- La probeta presentó una pérdida de 37.21% de su valor total en periodo de 30 días.
- La prueba de biodegradabilidad se trabajó bajo los parámetros de la norma INTE ISO 14855-1, esta norma manifiesta que en un periodo de 45 días la probeta debe perder el 70% de su peso inicial, es decir en el periodo de 30 días debería perder el 46.14% de su valor inicial, comparando los valores experimentales y los valores proyectados existe un error del 8.93%, estando por debajo del valor establecido por la norma, es decir la diferencia es significativa y no cumple la norma.

</td></tr>
<tr><td colspan="2">Valores obtenidos</td><td colspan="2">Aprobación y validación</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TIERRA
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">39.18%</td><td>Elaborado por:</td><td>Nelly Tocalema</td></tr>
<tr><td>Revisado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AIRE
% de pérdida de peso en 30 días</td><td rowspan="2">37.21%</td><td>Aprobado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
<tr><td>Validado por:</td><td>Ing. Juan Paredes Salinas, PhD.</td></tr>
</table>

Fuente: [Autor].

3.2. Resultados generales de ensayos

3.2.1. Resultados del ensayo de tracción de los bioplásticos

Tabla 39. Resultados del ensayo a tracción.

MEZCLA	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)
M-01	7.27	1.09	2.8
M-02	11.3	1.86	4.08
M-03	20.85	3.56	3.32
M-04	16.39	2.78	2.69
M-05	9.93	1.67	2.15
M-06	21.32	2.64	2.7
M-07	10.28	2.04	1.15
M-08	16.05	2	0.7
M-09	7.45	1.56	0.81
M-10	9.38	1.7	0.8

Fuente: [Autor].

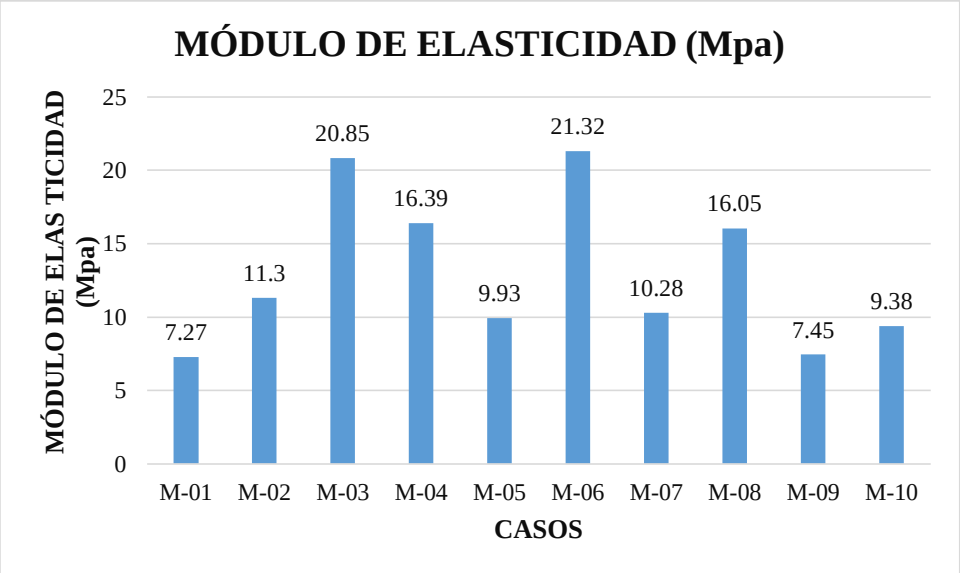


Figura 14. Módulo de elasticidad (MPa) de ensayo de tracción de bioplásticos.

Fuente: [Autor].

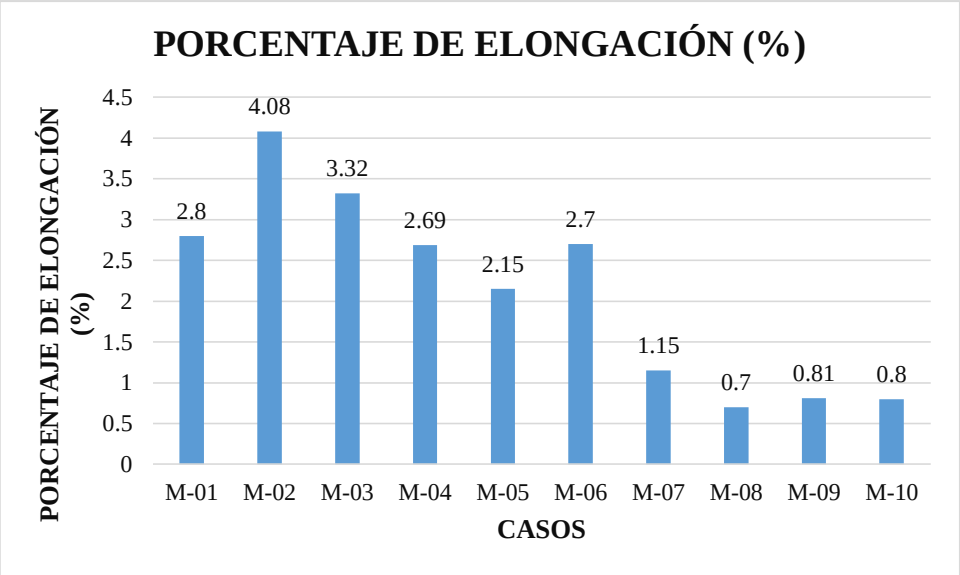


Figura 15. Porcentaje de elongación (%) de ensayo de tracción de bioplásticos.

Fuente: [Autor].

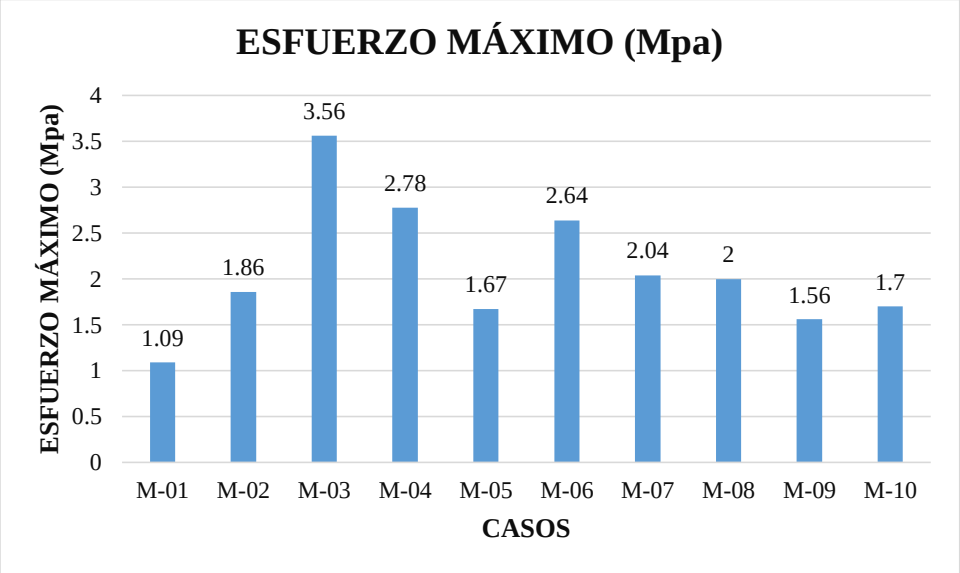


Figura 16. Esfuerzo máximo (MPa) de ensayo de tracción de bioplásticos.

Fuente: [Autor].

3.2.2. Resultados de pruebas de biodegradabilidad de bioplásticos

3.2.2.1. Resultados de pruebas de biodegradabilidad de bioplásticos (TIERRA)

Tabla 40. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la TIERRA, peso en (g) cada 2 días por 30 días.

CASOS	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
PESO INICIAL	2.92	2.11	2.28	2.4	2.93	2.72	2.11	2.59	2.67	2.91
DIA 2	2.87	2.07	2.20	2.36	2.85	2.68	2.05	2.53	2.60	2.87
DIA 4	2.75	1.95	2.14	2.26	2.76	2.61	1.99	2.47	2.52	2.81
DIA 6	2.69	1.91	2.05	2.19	2.68	2.55	1.93	2.40	2.45	2.75
DIA 8	2.60	1.81	1.91	2.05	2.56	2.48	1.88	2.31	2.31	2.65
DIA 10	2.55	1.76	1.84	1.98	2.48	2.37	1.75	2.27	2.26	2.56
DIA 12	2.42	1.69	1.77	1.89	2.35	2.30	1.70	2.16	2.15	2.50
DIA 14	2.32	1.60	1.68	1.81	2.28	2.22	1.60	2.09	2.02	2.40
DIA 16	2.25	1.58	1.59	1.70	2.17	2.13	1.53	2.00	1.90	2.35
DIA 18	2.14	1.44	1.51	1.63	2.01	2.07	1.44	1.90	1.85	2.24
DIA 20	2.05	1.38	1.42	1.52	1.87	1.97	1.39	1.84	1.69	2.18
DIA 22	1.96	1.28	1.31	1.45	1.72	1.91	1.28	1.83	1.63	2.08
DIA 24	1.90	1.20	1.25	1.33	1.65	1.82	1.24	1.69	1.49	1.99
DIA 26	1.77	1.13	1.12	1.28	1.58	1.75	1.12	1.64	1.35	1.93
DIA 28	1.71	1.08	1.07	1.14	1.42	1.66	1.07	1.53	1.28	1.87
DIA 30	1.59	0.97	0.94	1.05	1.31	1.58	0.96	1.45	1.18	1.77

Fuente: [Autor].

Tabla 41. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la TIERRA, % de pérdida de peso cada 2 días por 30 días.

CASOS	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
DIA 2	1.57%	1.86%	3.51%	1.67%	2.73%	1.45%	2.84%	2.32%	2.62%	1.35%
DIA 4	5.82%	7.58%	6.08%	5.82%	5.72%	4.04%	5.64%	4.55%	5.77%	3.44%
DIA 6	7.85%	9.32%	10.13%	8.75%	8.53%	6.25%	8.53%	7.34%	8.24%	5.50%
DIA 8	10.99%	14.22%	16.23%	14.58%	12.63%	8.82%	10.90%	10.62%	13.47%	8.93%
DIA 10	12.67%	16.77%	19.30%	17.46%	15.36%	13.01%	16.91%	12.36%	15.36%	12.16%
DIA 12	17.28%	19.91%	22.29%	21.34%	19.80%	15.44%	19.43%	16.70%	19.48%	14.09%
DIA 14	20.42%	24.22%	26.35%	24.58%	22.18%	18.38%	24.17%	19.31%	24.34%	17.56%
DIA 16	22.95%	25.12%	30.40%	29.09%	25.94%	21.68%	27.49%	22.77%	28.86%	19.24%
DIA 18	26.70%	31.67%	33.77%	32.08%	31.40%	23.90%	31.95%	26.64%	30.71%	22.96%
DIA 20	29.84%	34.60%	37.72%	36.85%	36.22%	27.46%	34.12%	28.84%	36.56%	25.09%
DIA 22	32.98%	39.12%	42.56%	39.58%	41.30%	29.78%	39.47%	29.34%	38.95%	28.37%
DIA 24	34.93%	43.13%	45.18%	44.61%	43.85%	33.24%	41.23%	34.91%	44.26%	31.62%
DIA 26	39.27%	46.58%	50.67%	46.67%	46.08%	35.66%	46.98%	36.68%	49.44%	33.77%
DIA 28	41.44%	48.82%	53.07%	52.37%	51.48%	39.02%	49.29%	40.98%	51.96%	35.74%
DIA 30	45.55%	54.03%	58.77%	56.25%	55.29%	41.91%	54.50%	44.02%	55.81%	39.18%

Fuente: [Autor].

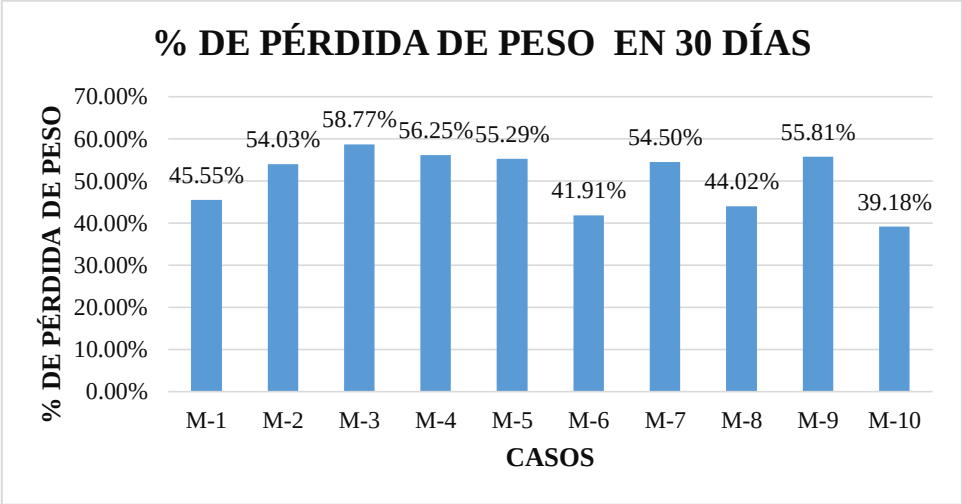


Figura 17. Pérdida de peso en 30 días (% de biodegradabilidad -TIERRA)

Fuente: [Autor].

En la Figura 17, se puede observar que al realizar la prueba de biodegradabilidad en la tierra por un periodo de 30 días, la temperatura para el trabajo fue al ambiente. El caso que tuvo el mayor % de biodegradabilidad fue el caso 3 con una pérdida de 58.77% de su peso original y el caso que presentó el menor porcentaje de biodegradabilidad fue el caso 10 con una pérdida del 39.18% de su peso original. Estos valores obtenidos variaron por diferentes aspectos por ejemplo: la cantidad de almidón utilizada, porcentaje de los plastificantes, la temperatura a la que fueron sometidas durante el ensayo, por lo que existieron días con temperaturas más altas que otras.

3.2.2.2. Resultados de pruebas de biodegradabilidad de bioplásticos (AIRE)

Tabla 42. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la AIRE, peso en (g) cada 2 días por 30 días.

CASOS	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
PESO INICIAL	2.88	2.13	2.32	2.45	2.81	2.79	2.23	2.67	2.53	3.01
DIA 2	2.83	2.10	2.28	2.38	2.76	2.75	2.19	2.63	2.48	2.97
DIA 4	2.75	2.02	2.23	2.33	2.70	2.67	2.15	2.55	2.42	2.91
DIA 6	2.70	1.93	2.12	2.23	2.58	2.60	2.05	2.51	2.30	2.82
DIA 8	2.63	1.88	2.05	2.17	2.50	2.51	2.00	2.39	2.25	2.74
DIA 10	2.50	1.80	1.96	2.10	2.39	2.40	1.90	2.33	2.11	2.70
DIA 12	2.45	1.75	1.85	2.05	2.29	2.36	1.85	2.23	1.99	2.59
DIA 14	2.33	1.66	1.80	1.93	2.25	2.29	1.75	2.19	1.92	2.51
DIA 16	2.22	1.55	1.74	1.84	2.11	2.20	1.67	2.08	1.83	2.46
DIA 18	2.16	1.52	1.63	1.80	2.01	2.15	1.60	2.04	1.78	2.35
DIA 20	2.10	1.42	1.58	1.68	1.95	2.04	1.51	1.92	1.65	2.29
DIA 22	1.99	1.38	1.47	1.57	1.83	1.96	1.46	1.83	1.55	2.21
DIA 24	1.93	1.33	1.40	1.52	1.73	1.87	1.41	1.76	1.41	2.11
DIA 26	1.82	1.23	1.31	1.45	1.68	1.81	1.31	1.67	1.37	2.08
DIA 28	1.73	1.17	1.20	1.36	1.54	1.73	1.25	1.60	1.25	1.95
DIA 30	1.65	1.09	1.15	1.28	1.45	1.65	1.16	1.52	1.18	1.89

Fuente: [Autor].

Tabla 43. Resultado de prueba de biodegradabilidad en la AIRE, % de pérdida de peso cada 2 días por 30 días.

CASOS	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
DIA 2	1.74%	1.41%	1.74%	2.86%	1.67%	1.41%	1.65%	1.49%	1.84%	1.28%
DIA 4	4.42%	5.05%	3.88%	4.94%	3.91%	4.23%	3.59%	4.46%	4.35%	3.32%
DIA 6	6.25%	9.39%	8.70%	8.98%	8.34%	6.81%	8.27%	5.99%	9.20%	6.42%
DIA 8	8.68%	11.79%	11.64%	11.53%	11.03%	9.86%	10.31%	10.40%	11.07%	8.98%
DIA 10	13.25%	15.49%	15.65%	14.29%	15.02%	13.98%	14.89%	12.73%	16.56%	10.30%
DIA 12	14.93%	17.84%	20.26%	16.33%	18.36%	15.50%	17.04%	16.34%	21.34%	14.11%
DIA 14	19.15%	21.89%	22.61%	21.41%	19.93%	17.92%	21.51%	17.98%	23.92%	16.68%
DIA 16	22.92%	27.23%	25.00%	24.70%	25.03%	21.13%	25.11%	22.28%	27.60%	18.27%
DIA 18	25.04%	28.62%	29.56%	26.53%	28.37%	22.94%	28.13%	23.60%	29.64%	21.81%
DIA 20	27.08%	33.33%	31.90%	31.29%	30.60%	26.77%	32.29%	28.22%	34.96%	23.92%
DIA 22	30.93%	35.36%	36.52%	35.92%	35.05%	29.59%	34.75%	31.46%	38.64%	26.58%
DIA 24	32.99%	37.56%	39.66%	37.87%	38.39%	32.97%	36.77%	34.16%	44.27%	29.90%
DIA 26	36.82%	42.09%	43.48%	40.82%	40.21%	35.22%	41.36%	37.45%	46.00%	30.90%
DIA 28	39.76%	45.07%	48.28%	44.46%	45.06%	38.04%	43.95%	40.10%	50.59%	35.22%
DIA 30	42.71%	48.83%	50.43%	47.76%	48.40%	40.86%	47.98%	43.07%	53.36%	37.21%

Fuente: [Autor].

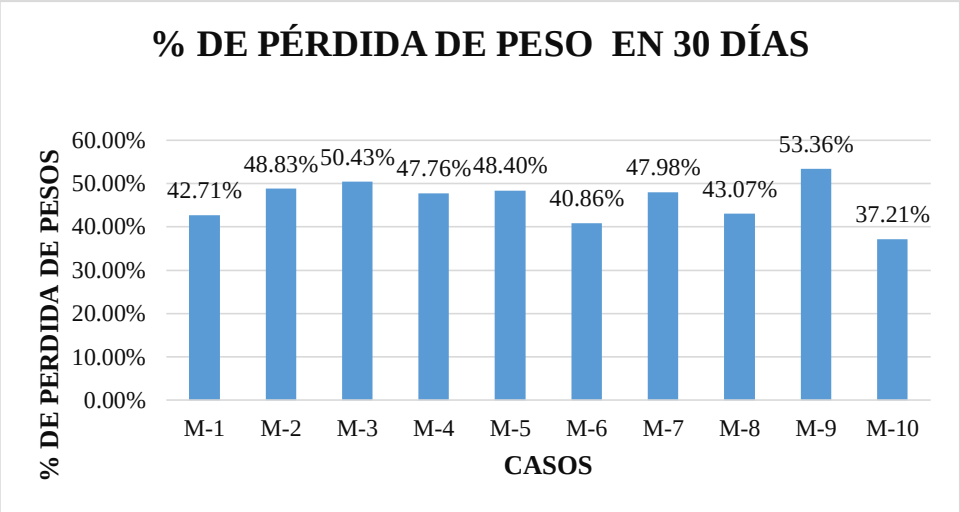


Figura 18. Pérdida de peso en 30 días (% de biodegradabilidad -AIRE)

Fuente: [Autor].

En Figura 18, se puede observar que al realizar la prueba de biodegradabilidad en el aire por un periodo de 30 días, la temperatura a la que fue trabajada fue a la temperatura ambiente, el caso que tuvo el mayor % de biodegradabilidad fue el caso 9 con una pérdida de 53.36% de su peso original y el caso que presentó el menor porcentaje de biodegradabilidad fue el caso 10 con una pérdida del 37.21% de su peso original, estos valores obtenidos variaron por diferentes aspectos por ejemplo: la cantidad de almidón utilizada, porcentaje de los plastificantes, la temperatura a la que fueron sometidas durante el ensayo, por lo que existieron días con temperaturas más altas que otras.

3.3. Comparación entre plásticos comerciales y Bioplástico a partir del almidón de la Oca)

En las siguientes figuras (19-21) se muestran la comparación entre los plásticos comerciales y el biopolímero, obtenido las diferentes propiedades mecánicas: Esfuerzo Máximo (MPa), Módulo de Elasticidad (MPa) y Porcentaje de Elongación (%), al realizar los ensayos de tracción. Para las comparaciones se han tomado tres valores de biopolímeros que han presentado de mejor manera durante el ensayo, mientras que para los ensayos de plásticos comerciales se han utilizado plásticos que estaba en nuestro entorno.

3.3.1. Esfuerzo Máximo (MPa)

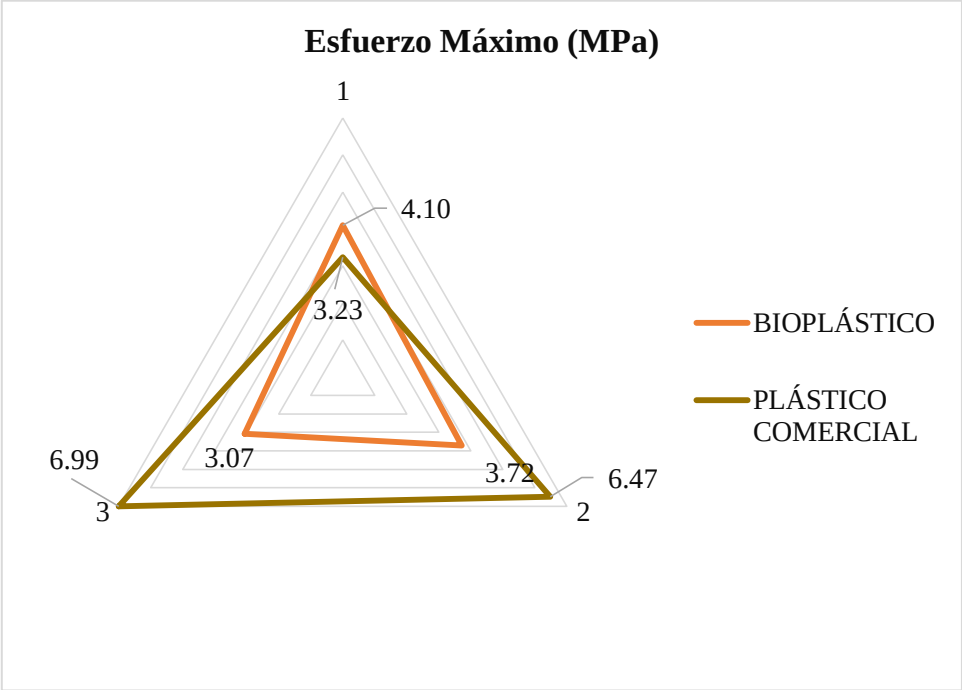


Figura 19. Comparación de esfuerzo Máximo (MPa) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca.

Fuente: [Autor].

Después de realizar el análisis de las propiedades mecánicas del bioplástico, se puede observar en la Figura 19, el comportamiento de los plásticos comerciales y el bioplástico realizado, que se tiene un Esfuerzo Máximo a Tracción en el bioplástico de 4.10 MPa, este siendo el mejor caso presentado, mientras que en plástico comercial se obtiene de 6.99 MPa. Por ello se puede manifestar que no existe una diferencia tan grande entre estos tipos de plásticos. A su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 58.77% en la tierra y 50.43% en el aire.

3.2.2. Módulo de Elasticidad (MPa)

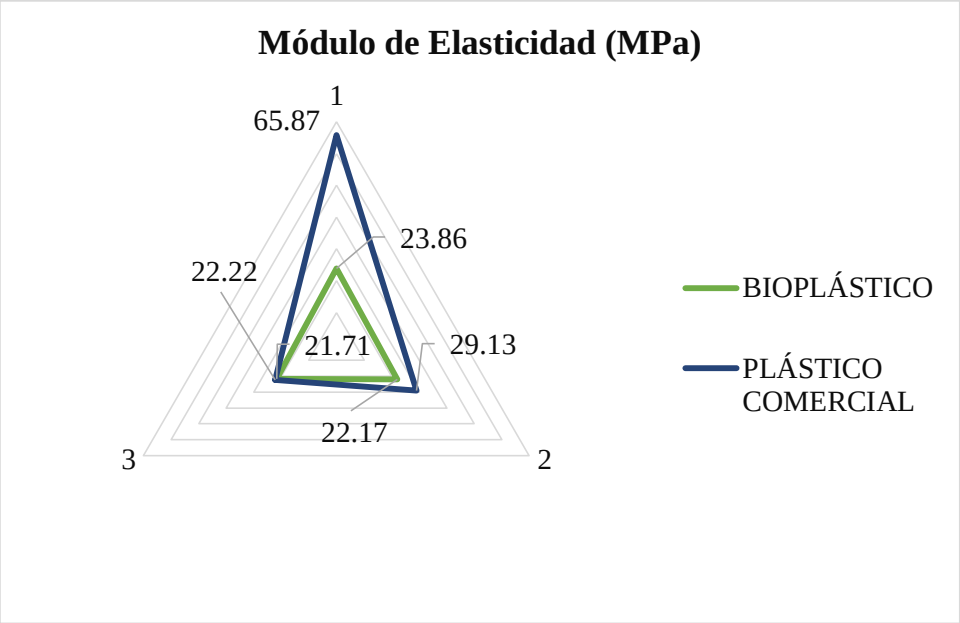


Figura 20. Comparación de Modulo de Elasticidad (MPa) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca.

Fuente: [Autor].

Después de realizar el análisis de las propiedades mecánicas del bioplástico, se puede observar en la figura 20, el comportamiento de los plásticos comerciales y el bioplástico realizado, que se tiene un Módulo de Elasticidad en el bioplástico de 23.86 MPa, este siendo el mejor caso presentado, mientras que en plástico comercial se obtiene de 65.87 MPa. Por ello se puede manifestar que existe una diferencia considerable grande entre estos tipos de plásticos. Estas diferencias podrían ser causadas, por los materiales utilizados para su fabricación, por lo que el plástico convencional es originado de recursos no renovables como el petróleo. A su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 58.77% en la tierra y 50.43% en el aire, presentes en la Figura 17, 18.

3.3.3. Porcentaje de Elongación (%)

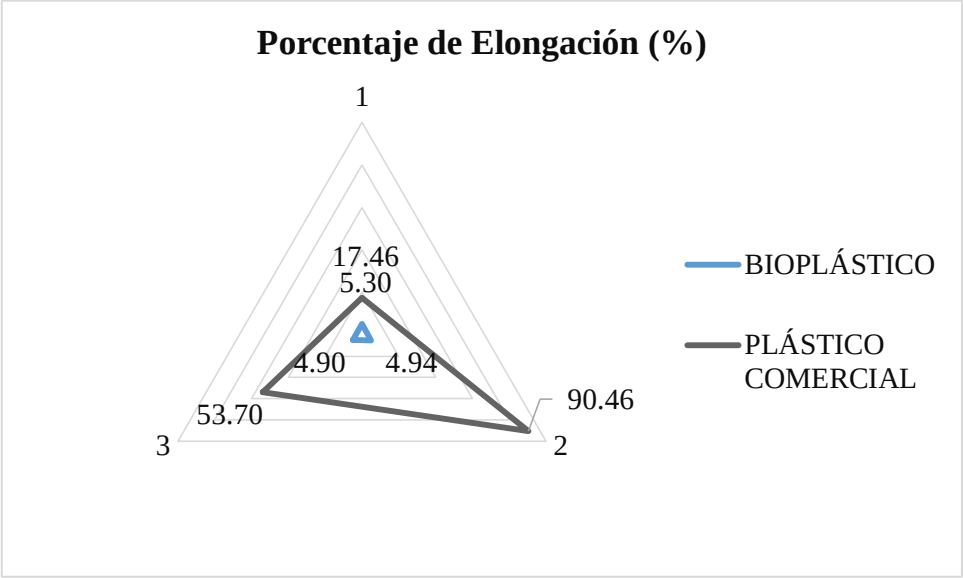


Figura 21. Comparación de Porcentaje de Elongación (%) entre plástico comercial y el bioplástico a partir del almidón de la oca.

Fuente: [Autor].

Después de realizar el análisis de las propiedades mecánicas del bioplástico, se puede observar en la Figura 21, el comportamiento de los plásticos comerciales y el bioplástico realizado, que se tiene un porcentaje de elongación en el bioplástico de 5.30%, este siendo el mejor caso presentado, mientras que en plástico comercial se obtiene de 90.46%. Por ello se puede manifestar que existe una diferencia considerable grande entre estos tipos de plásticos. Estas diferencias podrían ser causadas, por los materiales utilizados para su fabricación, por lo que el plástico convencional es originado de recursos no renovables como el petróleo, mientras que el biopolímero no conlleva tantos componentes y son realizados por componentes biodegradables. A su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 54.03% en la tierra y 48.83 % en el aire, figura 17, 18.

3.4. Análisis de optimización de respuestas múltiples DOE- MEZCLAS

3.4.1. Análisis del ensayo a tracción

3.4.1.1. Análisis estadístico del esfuerzo máximo a tracción

Utilizando los datos del esfuerzo máximo a tracción, primero se verifican los supuestos necesarios para realizar el análisis de la varianza (ANOVA) y optimizar esta propiedad mecánica.

3.4.1.2. Verificación de supuestos del esfuerzo máximo a tracción

Supuestos de normalidad

Se evalúan los tres supuestos paramétricos necesarios para llevar a cabo el análisis de la varianza. Primero se realiza la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, como se muestra en la siguiente Figura 22. Utilizando un software estadístico, se obtiene un valor p de 0.125. Dado que este valor es superior al nivel de significancia definido de 0.05, se confirma que los datos del esfuerzo máximo a tracción cumple con el supuesto de normalidad.

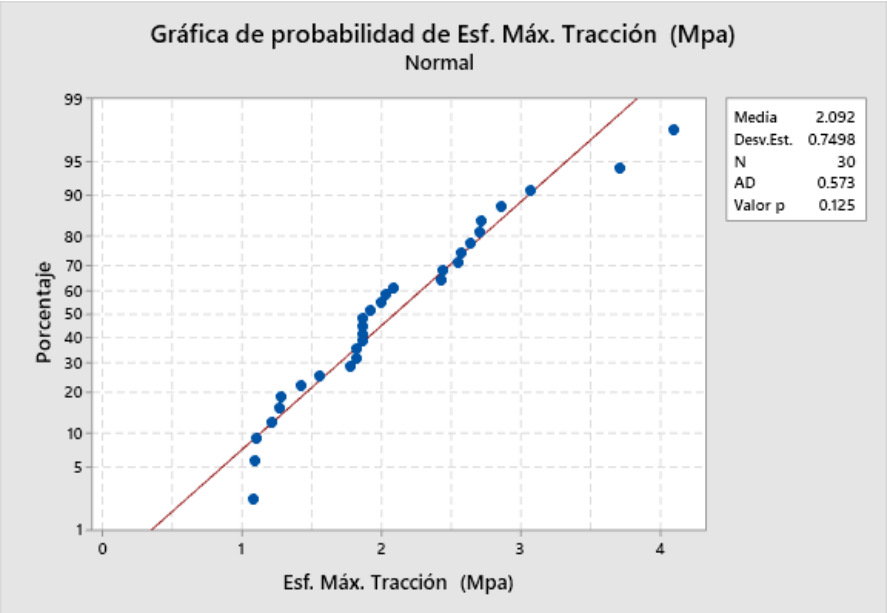


Figura 22. Grafica de probabilidad del Esfuerzo Máximo a Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tabla 44. Prueba de igualdad de varianza.

Método	Estadística de prueba	Valor p
Levene	0.63	0.761

Fuente: Minitab® Statistical Software

El supuesto de igualdad de varianza se comprueba utilizando la prueba de Levene, que proporciona un valor p de 0.761. Como este valor supera el nivel de significancia establecido de 0.05, se confirma que los datos del esfuerzo máximo a tracción cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.

Independencia de datos

Se comprobó la independencia de los residuos mediante la gráfica de residuos frente al orden. La siguiente Figura 23, demuestra esta independencia, evidenciada por la ausencia de patrones en la gráfica.

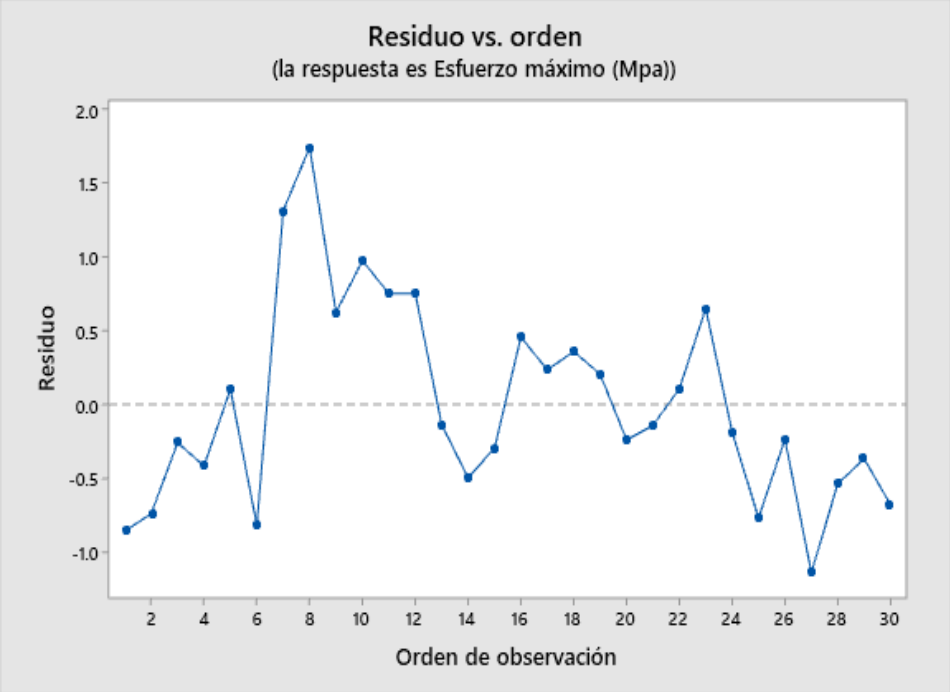


Figura 23. Residuo vs orden: Resultados de Esfuerzo Máximo a Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con los supuestos cumplidos, se puede realizar el análisis de varianza (ANOVA) con la garantía de obtener resultados fiables.

3.4.1.3. Análisis de varianza del esfuerzo máximo a tracción

Una vez verificados los supuestos, se realiza el análisis de varianza (ANOVA) del Esfuerzo Máximo a Tracción, obteniendo la Tabla 45, que se muestra a continuación.

Tabla 45. Análisis de varianza del Esfuerzo Máximo a Tracción.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	2.7660	2.7660	0.5532	0.98	0.450
Lineal	2	0.7032	0.6712	0.3356	0.59	0.560
Cuadrático	3	2.0628	2.0628	0.6876	1.22	0.324
Almidón*Glicerina	1	0.3479	0.3613	0.3613	0.64	0.431
Almidón*Ac. Acético	1	1.0822	1.0923	1.0923	1.94	0.177
Glicerina*Ac. Acético	1	0.6327	0.6327	0.6327	1.12	0.300
Error residual	24	13.5385	13.5385	0.5641		
Falta de ajuste	4	1.8109	1.8109	0.4527	0.77	0.556
Error puro	20	11.7276	11.7276	0.5864		
Total	29	16.3045				

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tras verificar adecuadamente los términos relevantes, se dispone del modelo generado para predecir el punto óptimo. Este modelo incluye los términos detallados en la Tabla 45, que son estadísticamente significativos con la confiabilidad del 95%.

3.4.1.4. Regresión para mezclas: Esfuerzo Máximo a Tracción (MPa)

A continuación la Figura 24, muestra la zona óptima para la realización de mezclas, esperando valores satisfactorios.

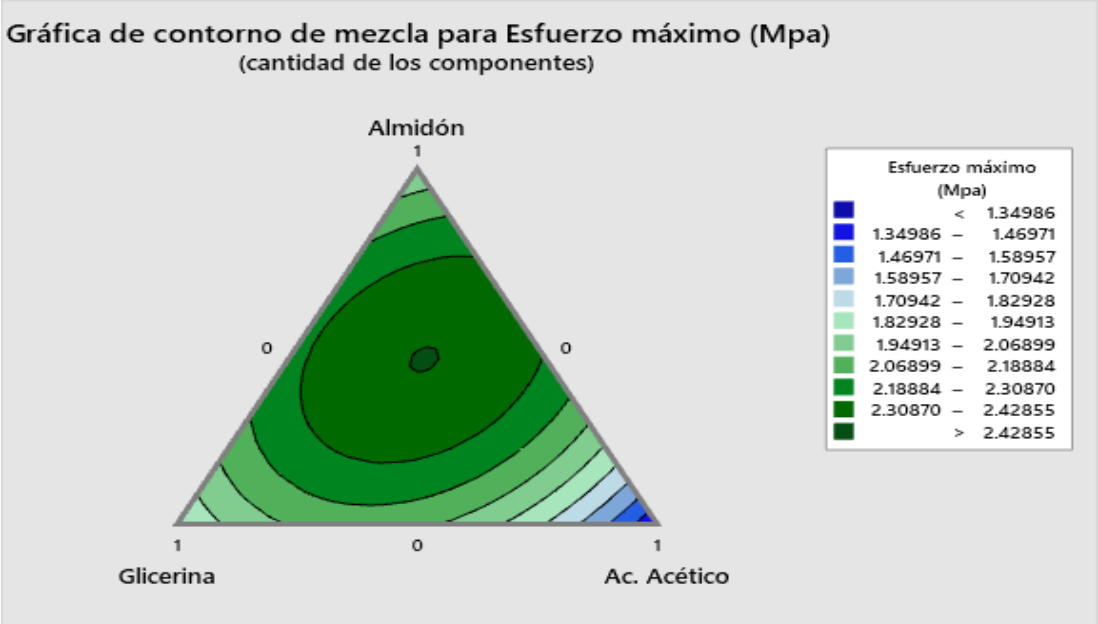


Figura 24. Grafica de contorno de Mezcla para Esfuerzo Máximo (MPa).

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para obtener un valor óptimo de Esfuerzo Máximo a Tracción se debe realizar la mezcla en la zona más oscura del color verde de la Figura 24, la cual dará como resultado una firmeza mayor a 2.42855 del Esfuerzo Máximo a Tracción (MPa). La zona óptima está alejada de Ac. Acético y cerca de los componentes de la mezcla Almidón y Glicerina.

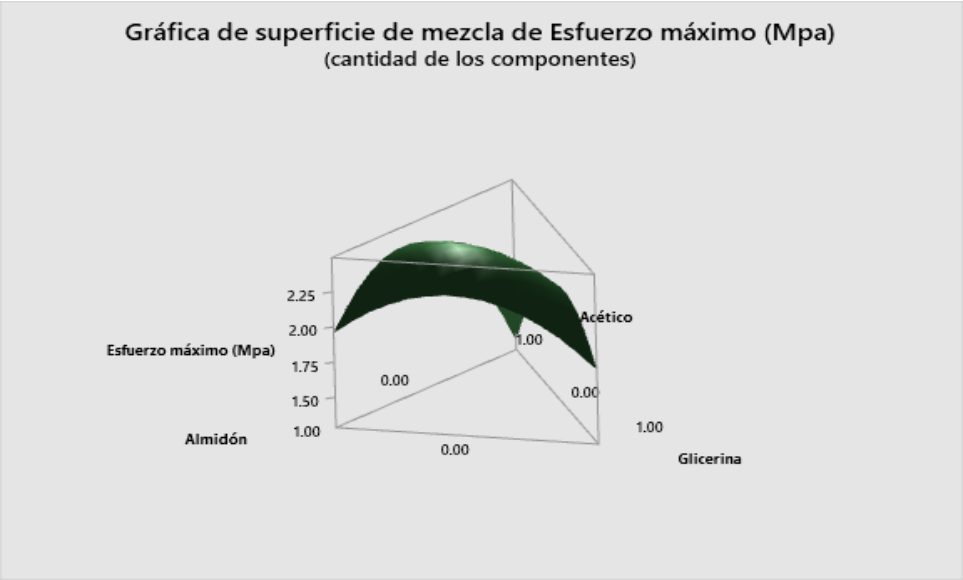


Figura 25. Grafica de superficie de mezclas de Esfuerzo máximo (MPa).

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión obtenida mediante el análisis de varianza (ANOVA), es necesario examinar las superficies de respuesta mostradas en la figura anterior. En esta Figura 25, se puede observar el comportamiento del Esfuerzo Máximo a Tracción en función de cada factor de entrada. La mayor firmeza de Esfuerzo Máximo a Tracción esta inclinada en la zona que tiene mayor cantidad de almidón.

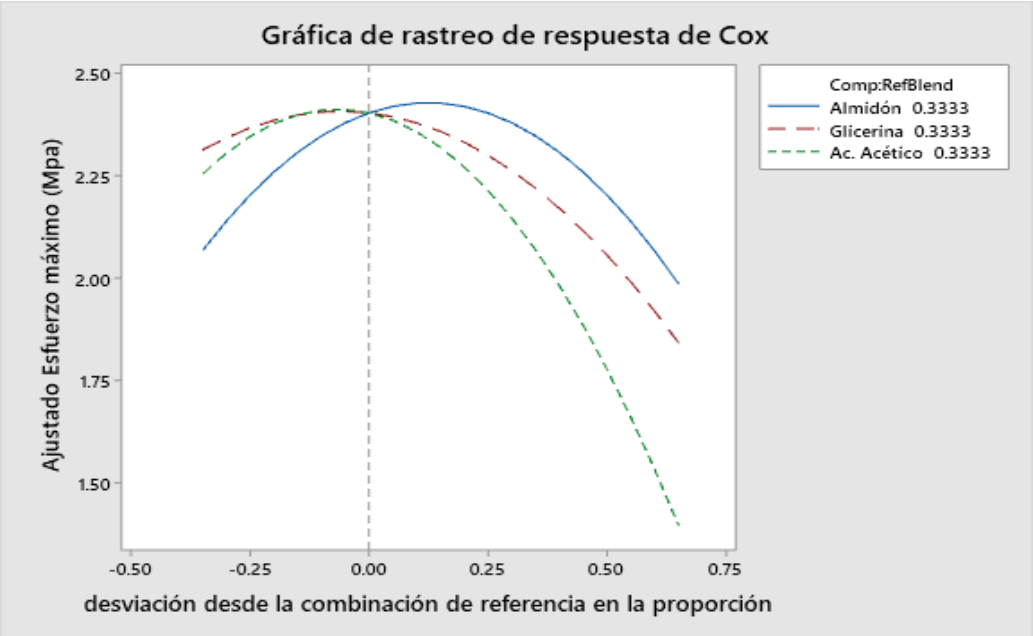


Figura 26. Grafica de rastreo de respuesta Cox.

Fuente: Minitab® Statistical Software

La figura 26, muestra el rastreo de respuestas, en ello se manifiesta que durante la realización de mezclas al aumentar la cantidad de almidón el Esfuerzo Máximo a Tracción (MPa) extiende, mientras que si se le aumenta la cantidad de ácido acético disminuye el esfuerzo máximo, de la misma manera sucede con la glicerina pero en menor proporción.

3.4.1.5. Optimización individual del esfuerzo máximo a tracción

De acuerdo con el objetivo de la investigación, se alcanza la optimización de la propiedad mecánica, lo que nos permite obtener la mejor caracterización del material a partir de los datos del ensayo mecánico. De esta manera, se presentan las predicciones de los valores en relación con los factores de entrada, tales como almidón, glicerina y ácido acético.

Componentes

Almidón	=	0.463872
Glicerina	=	0.253299
Ac. Acético	=	0.282828

Respuestas pronosticadas

Esfuerzo máx. = 2.43036 , deseabilidad = 0.592771

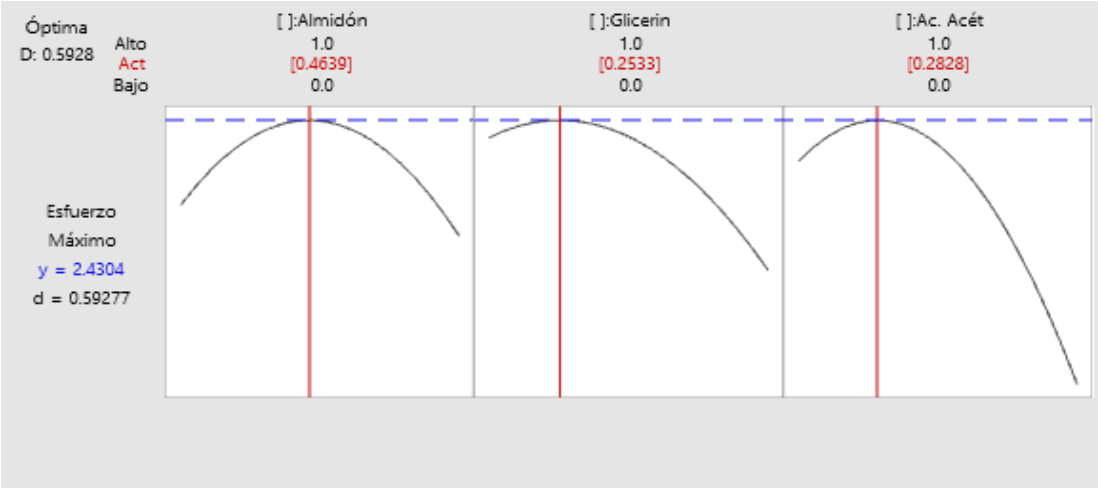


Figura 27. Optimización de respuesta de Esfuerzo Máximo a Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.4.2. Análisis estadístico del módulo de elasticidad

Utilizando los datos del módulo de elasticidad, primero se verifican los supuestos necesarios para realizar el análisis de la varianza (ANOVA) y optimizar esta propiedad mecánica.

3.4.2.1. Verificación de supuestos del módulo de elasticidad

Supuestos de normalidad

Se evalúan los tres supuestos paramétricos necesarios para llevar a cabo el análisis de la varianza. Primero se realiza la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, como se muestra en la siguiente Figura 28. Utilizando un software estadístico, se obtiene un valor p de 0.018

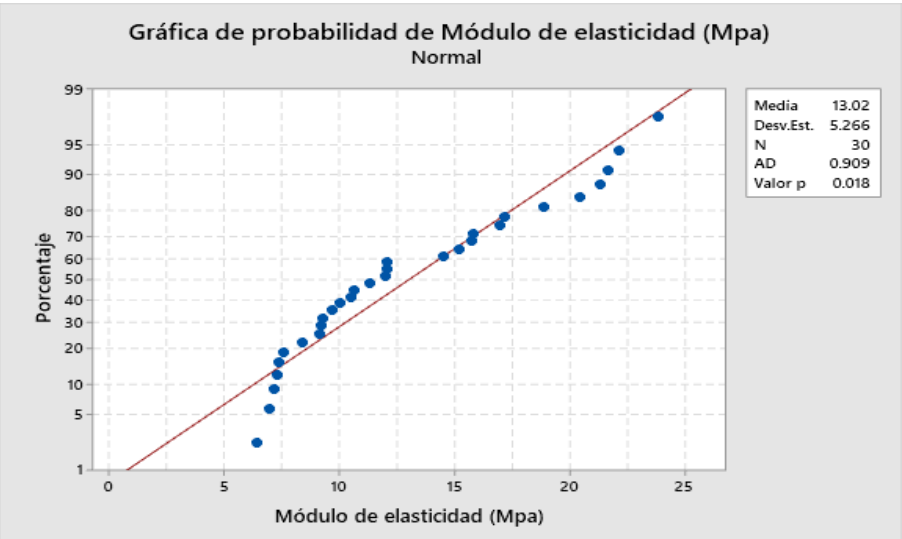


Figura 28. Grafica de probabilidad del Módulo de Elasticidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tabla 46. Prueba de igualdad de varianza.

Método	Estadística de prueba	Valor p
Levene	0.23	0.985

Fuente: Minitab® Statistical Software

El supuesto de igualdad de varianza se comprueba utilizando la prueba de Levene, que proporciona un valor p de 0.985. Como este valor supera el nivel de significancia establecido de 0.05, se confirma que los datos del Módulo de Elasticidad cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.

Independencia de datos

Se comprobó la independencia de los residuos mediante la gráfica de residuos frente al orden. La siguiente Figura 29, demuestra esta independencia, evidenciada por la ausencia de patrones en la gráfica.

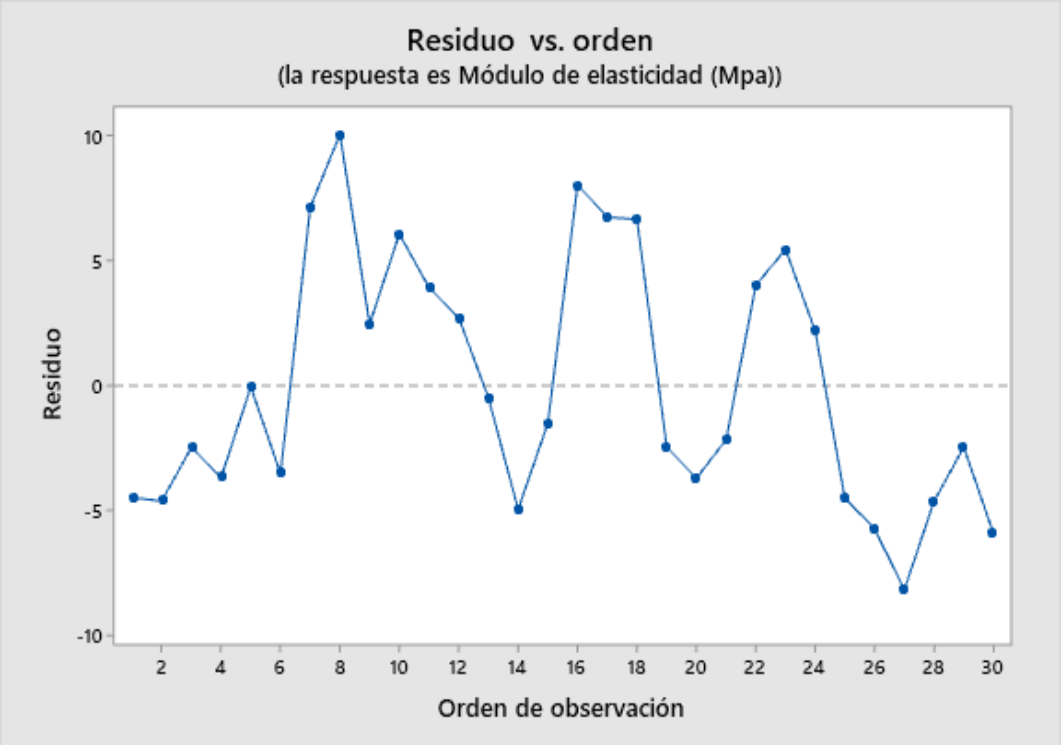


Figura 29. Residuo vs orden: Resultados de Módulo de Elasticidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con los supuestos cumplidos, se puede realizar el análisis de varianza (ANOVA) con la garantía de obtener resultados fiables.

3.4.2.2. Análisis de varianza del módulo de elasticidad

Una vez verificados los supuestos, se realiza el análisis de varianza (ANOVA) del Módulo de Elasticidad, obteniendo la Tabla 47, que se muestra a continuación.

Tabla 47. Análisis de varianza de Módulo de Elasticidad.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	74.951	74.951	14.990	0.49	0.778
Lineal	2	19.848	9.478	4.739	0.16	0.856
Cuadrático	3	55.103	55.103	18.368	0.60	0.618
Almidón*Glicerina	1	23.762	24.190	24.190	0.80	0.381
Almidón*Ac. Acético	1	3.645	3.770	3.770	0.12	0.728
Glicerina*Ac. Acético	1	27.696	27.696	27.696	0.91	0.349
Error residual	24	729.257	729.257	30.386		
Falta de ajuste	4	98.150	98.150	24.537	0.78	0.553
Error puro	20	631.107	631.107	31.555		
Total	29	804.208				

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tras verificar adecuadamente los términos relevantes, se dispone del modelo generado para predecir el punto óptimo. Este modelo incluye los términos detallados en la Tabla 47, que son estadísticamente significativos con la confiabilidad del 95%.

3.4.2.3. Regresión de la mezcla: Módulo de Elasticidad (MPa)

La Figura 30, presentada muestra la zona óptima para la realización de mezclas, esperando valores satisfactorios.

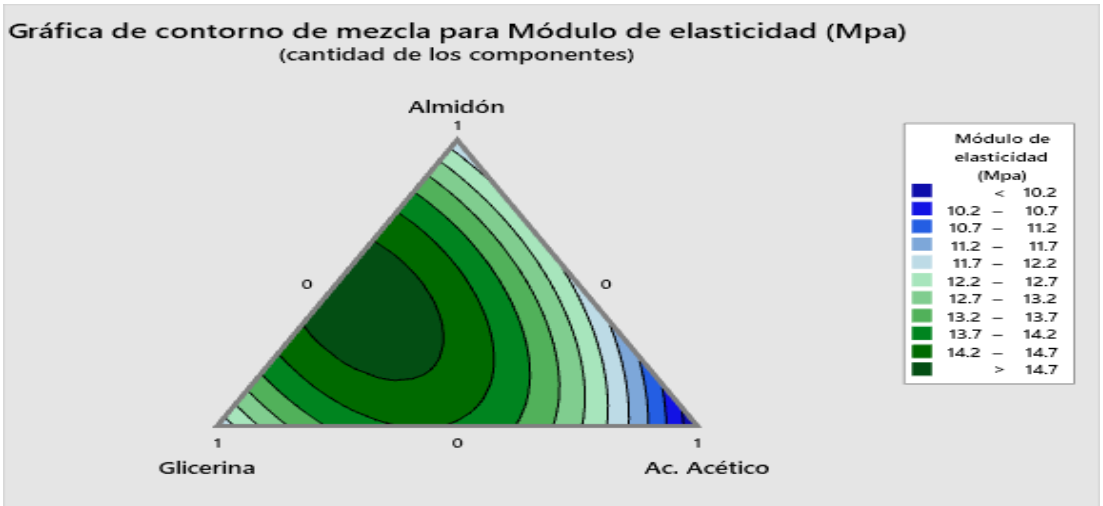


Figura 30. Grafica de contorno de Mezcla para Módulo de Elasticidad (MPa).

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para obtener un valor óptimo de Módulo de elasticidad a Tracción se debe realizar la mezcla en la zona más obscura del color verde de la Figura 30, la cual dará como resultado una firmeza mayor a 14.7 del Módulo de Elasticidad a Tracción (MPa). La zona óptima está alejada de Ac. Acético y Almidón cerca de la zona de glicerina.

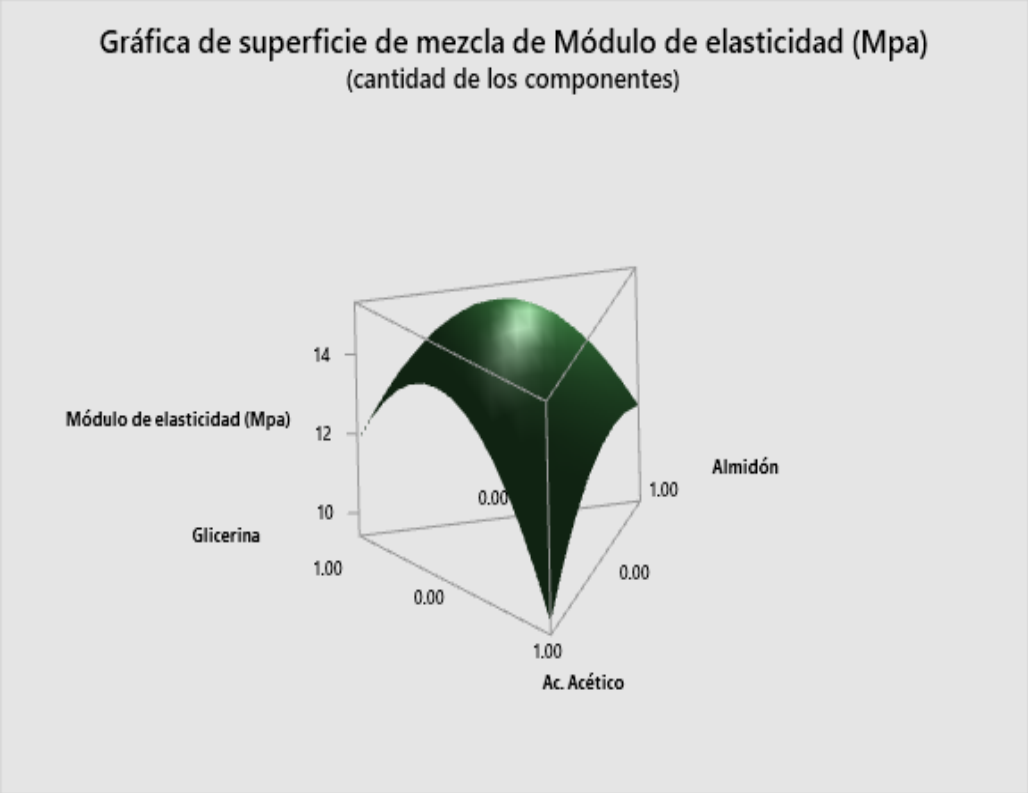


Figura 31.Grafica de superficie de mezcla de Modulo de elasticidad (MPa).

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión obtenida mediante el análisis de varianza (ANOVA), es necesario examinar las superficies de respuesta mostradas en la figura anterior. En esta figura 31, se puede observar el comportamiento Modulo de Elasticidad a Tracción en función de cada factor de entrada. Módulo de Elasticidad a Tracción esta inclinada en la zona que tiene mayor cantidad de almidón y Glicerina.

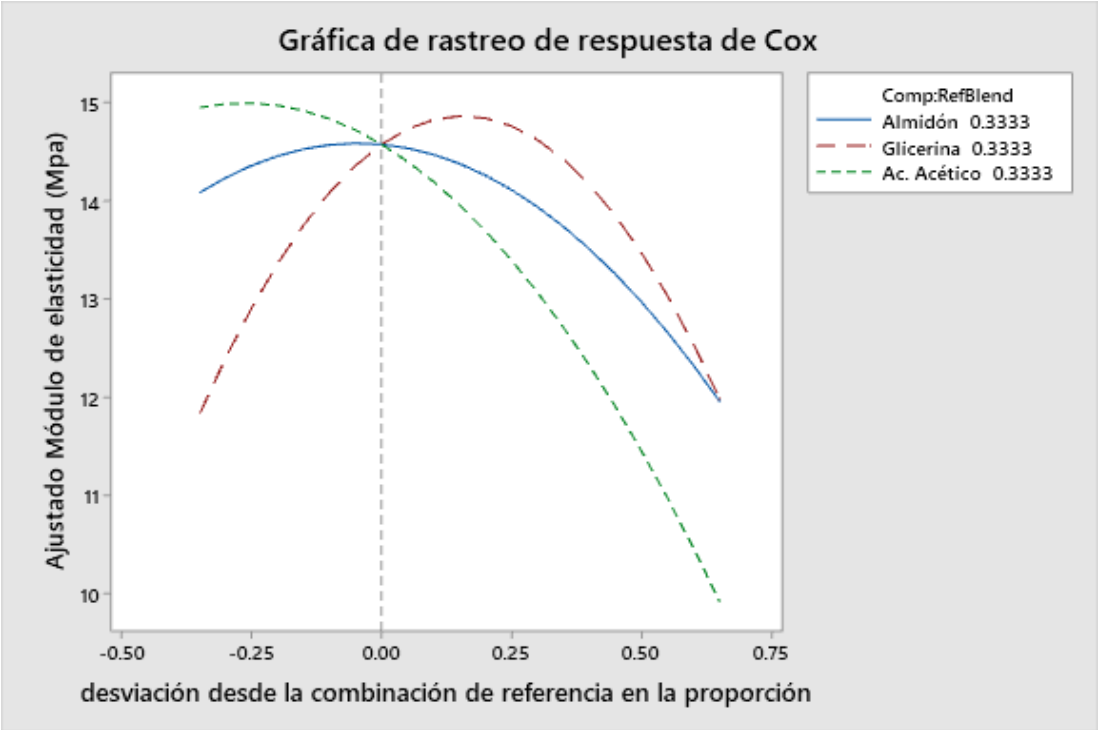


Figura 32. Grafica de rastreo de respuesta de Cox.

Fuente: Minitab® Statistical Software

La Figura 32, muestra el rastreo de respuestas, en ello se manifiesta que durante la realización de mezclas al aumentar la cantidad de glicerina el Modulo de Elasticidad a Tracción (MPa) se extiende de la misma manera sucede con el almidón pero en menor proporción, mientras que si se le aumenta la cantidad de ácido acético disminuye el Modulo de elasticidad.

3.4.2.4. Optimización individual del módulo de elasticidad

De acuerdo con el objetivo de la investigación, se alcanza la optimización de la propiedad mecánica, lo que nos permite obtener la mejor caracterización del material a partir de los datos del ensayo mecánico. De esta manera, se presentan las predicciones de los valores en relación con los factores de entrada, tales como almidón, glicerina y ácido acético.

Componentes

Almidón	=	0.424242
Glicerina	=	0.484453
Ac. Acético	=	0.0913050

Respuestas pronosticadas

Módulo de elasticidad = 15.0064 , deseabilidad = 0.628937

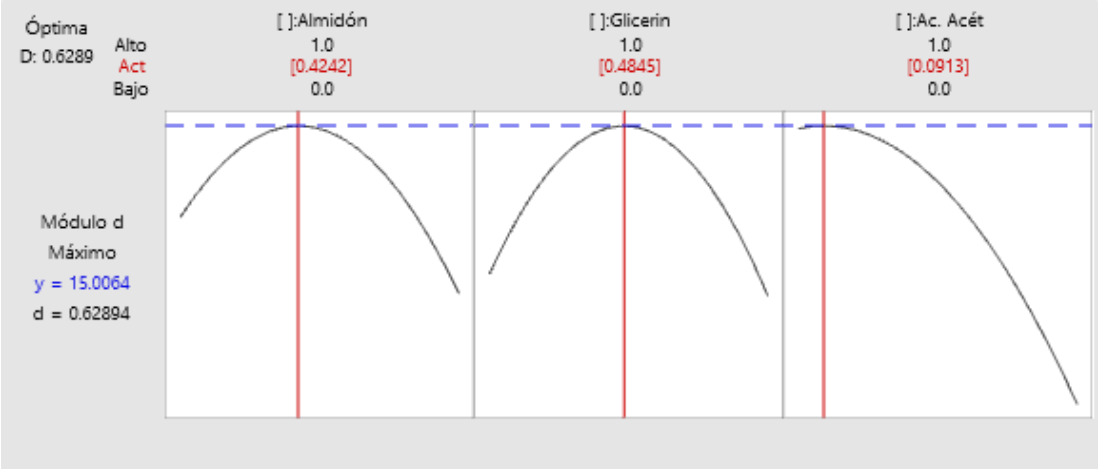


Figura 33. Optimización de respuestas.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.4.3. Análisis estadístico del porcentaje de elongación

Utilizando los datos del Porcentaje de Elongación, primero se verifican los supuestos necesarios para realizar el análisis de la varianza (ANOVA) y optimizar esta propiedad mecánica.

3.4.3.1. Verificación de supuestos del porcentaje de elongación

Supuestos de normalidad

Se evalúan los tres supuestos paramétricos necesarios para llevar a cabo el análisis de la varianza. Primero se realiza la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, como se muestra en la siguiente Figura 34. Utilizando un software estadístico, se obtiene un valor p de 0.155. Dado que este valor es superior al nivel de significancia definido de 0.05, se confirma que los datos del Porcentaje de Elongación cumplen con el supuesto de normalidad.

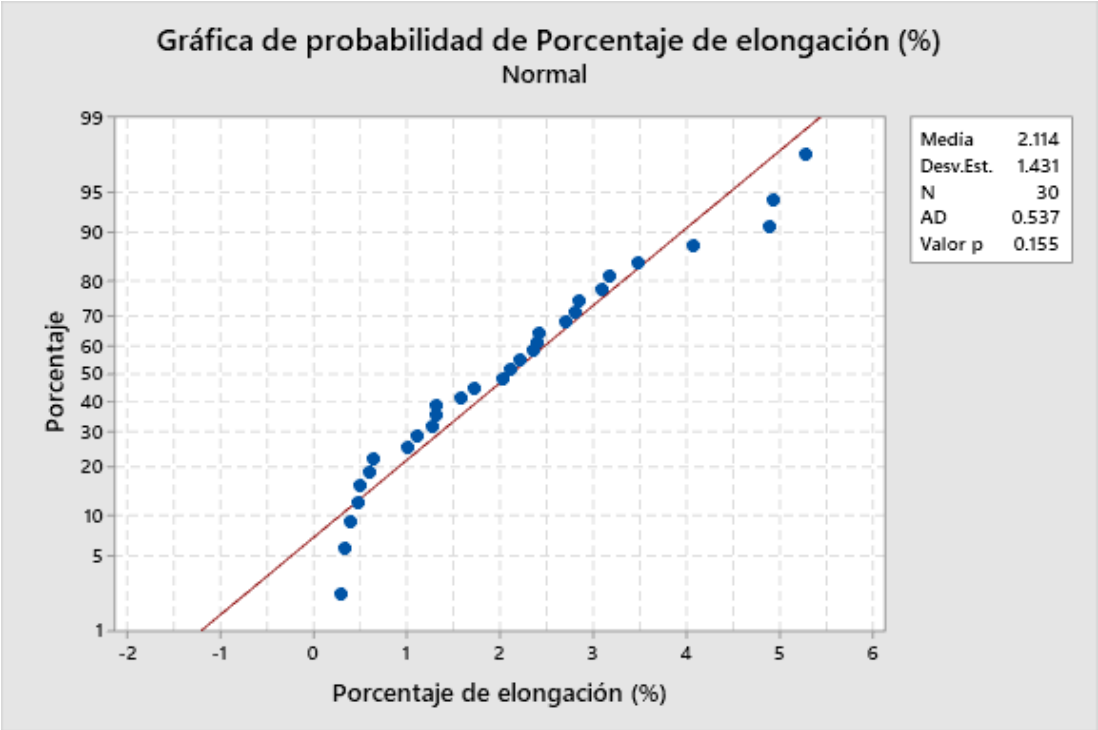


Figura 34. Grafica de probabilidad de Porcentaje de elongación (%).

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tabla 48. Prueba de igualdad de varianza.

Método	Estadística de prueba	Valor p
Levene	0.56	0.812

Fuente: Minitab® Statistical Software

El supuesto de igualdad de varianza comprueba utilizando la prueba de Levene, que proporciona un valor p de 0.812. Como este valor supera el nivel de significancia establecido de 0.05, se confirma que los datos del Porcentaje de Elongación cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.

Independencia de datos

Se comprobó la independencia de los residuos mediante la gráfica de residuos frente al orden. La Figura 35, demuestra esta independencia, evidenciada por la ausencia de patrones en la gráfica.

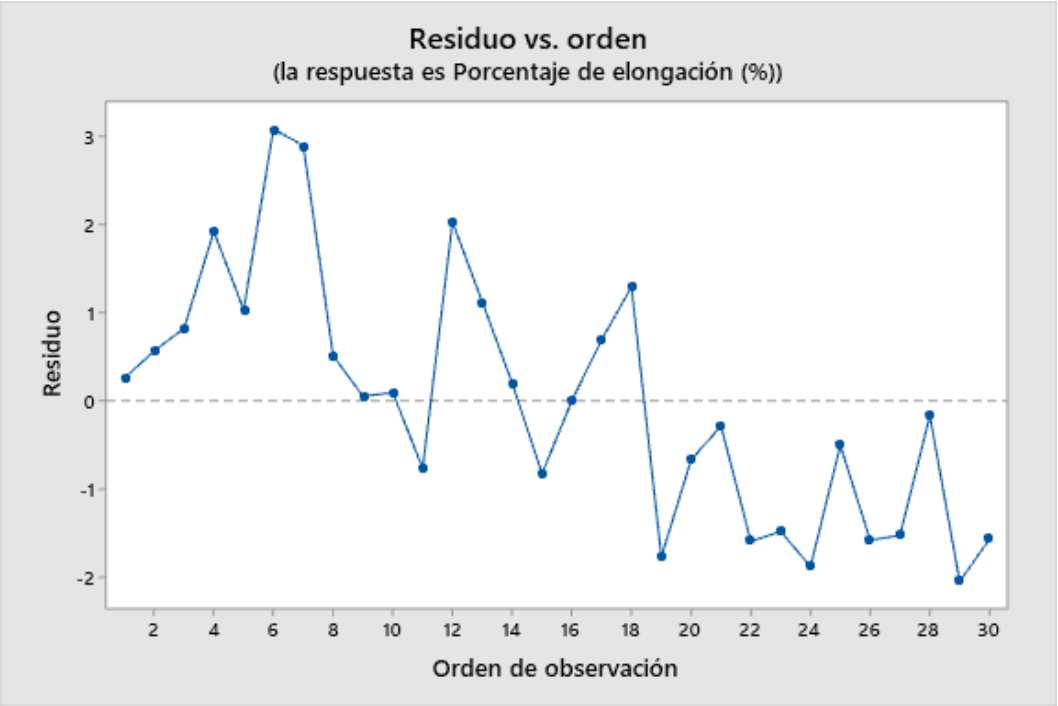


Figura 35. Residuo vs orden: Resultados de Porcentaje de elongación (%).

Fuente: Minitab® Statistical Software

Con los supuestos cumplidos, se puede realizar el análisis de varianza (ANOVA) con la garantía de obtener resultados fiables.

3.4.3.2. Análisis de varianza del porcentaje de elongación

Una vez verificados los supuestos, se realiza el análisis de varianza (ANOVA) del Porcentaje de Elongación, obteniendo la Tabla 49, que se muestra a continuación.

Tabla 49. Análisis de varianza de porcentaje de elongación.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	5	2.9067	2.9067	0.58134	0.25	0.937
Lineal	2	2.6309	2.1763	1.08816	0.46	0.635
Cuadrático	3	0.2757	0.2757	0.09191	0.04	0.989
Almidón*Glicerina	1	0.1276	0.1298	0.12978	0.06	0.816
Almidón*Ac. Acético	1	0.0224	0.0231	0.02309	0.01	0.922
Glicerina*Ac. Acético	1	0.1257	0.1257	0.12573	0.05	0.819
Error residual	24	56.4494	56.4494	2.35206		
Falta de ajuste	4	9.9788	9.9788	2.49469	1.07	0.396
Error puro	20	46.4707	46.4707	2.32353		
Total	29	59.3561				

Fuente: Minitab® Statistical Software

Tras verificar adecuadamente los términos relevantes, se dispone del modelo generado para predecir el punto óptimo. Este modelo incluye los términos detallados en la Tabla 49, que son estadísticamente significativos con la confiabilidad del 95%.

3.4.3.3. Regresión de la mezcla: Porcentaje de Elongación (%)

La Figura 36, presentada muestra la zona óptima para la realización de mezclas, esperando valores satisfactorios.

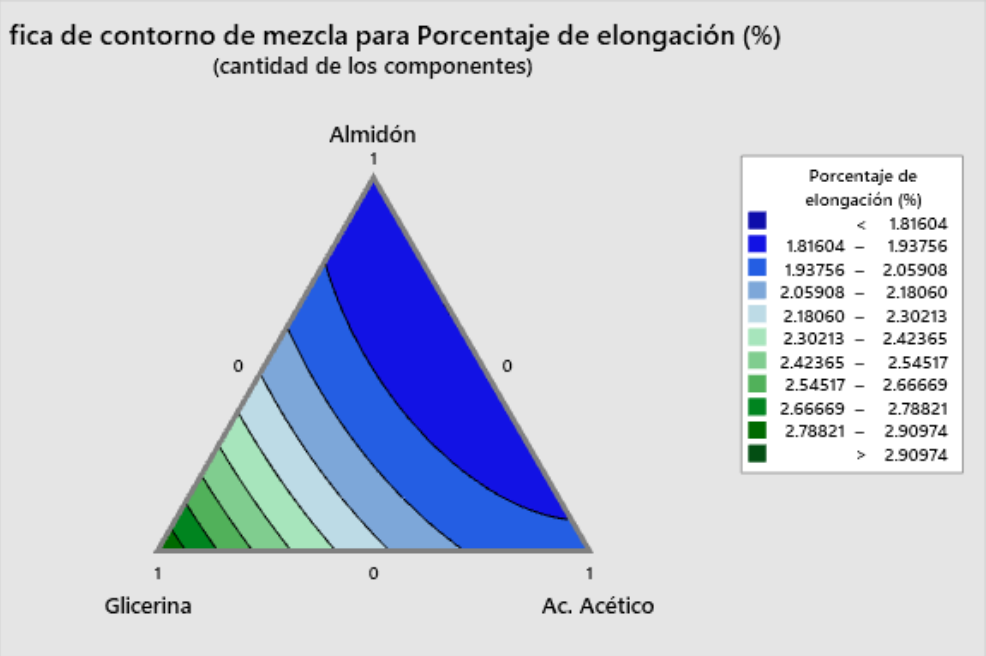


Figura 36. Grafica de contorno de Porcentaje de Elongación (%).

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para obtener un valor óptimo de Porcentaje de Elongación (%) se debe realizar la mezcla en la zona más obscura del color verde de la Figura 36, la cual dará como resultado una firmeza mayor a 2.90974 %. La zona óptima está alejada de Ac. Acético y Almidón cerca de la zona de glicerina.

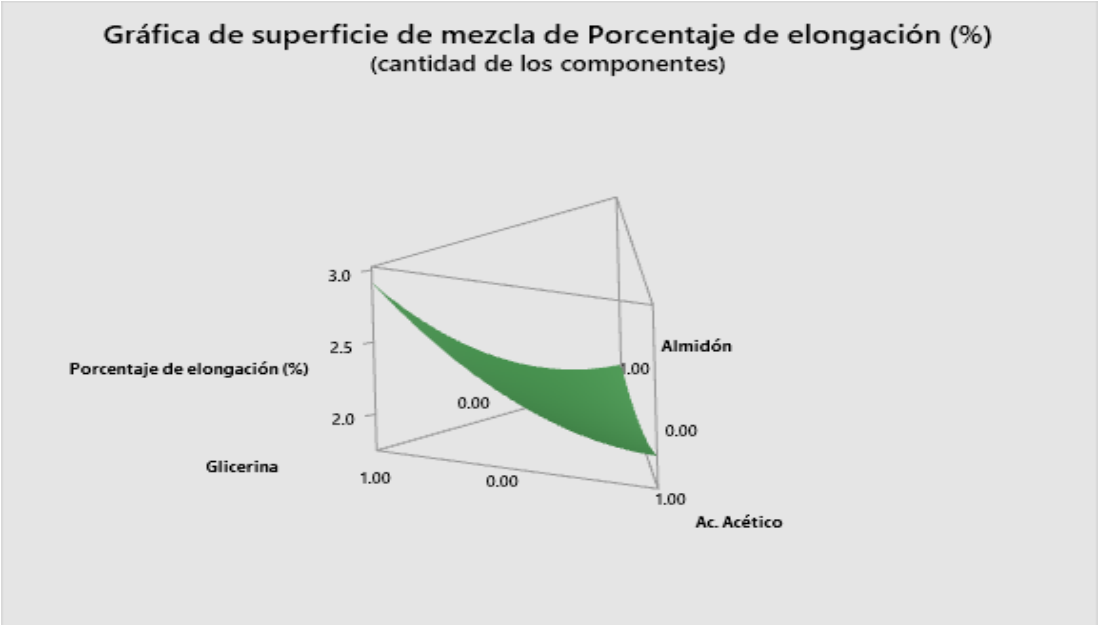


Figura 37. Grafica de superficie de mezcla de Porcentaje de elongación (%).

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión obtenida mediante el análisis de varianza (ANOVA), es necesario examinar las superficies de respuesta mostradas en la Figura 37. En esta figura, se puede observar el comportamiento del porcentaje de elongación en función de cada factor de entrada. El porcentaje de elongación está inclinado en la zona que tiene mayor cantidad de Glicerina.

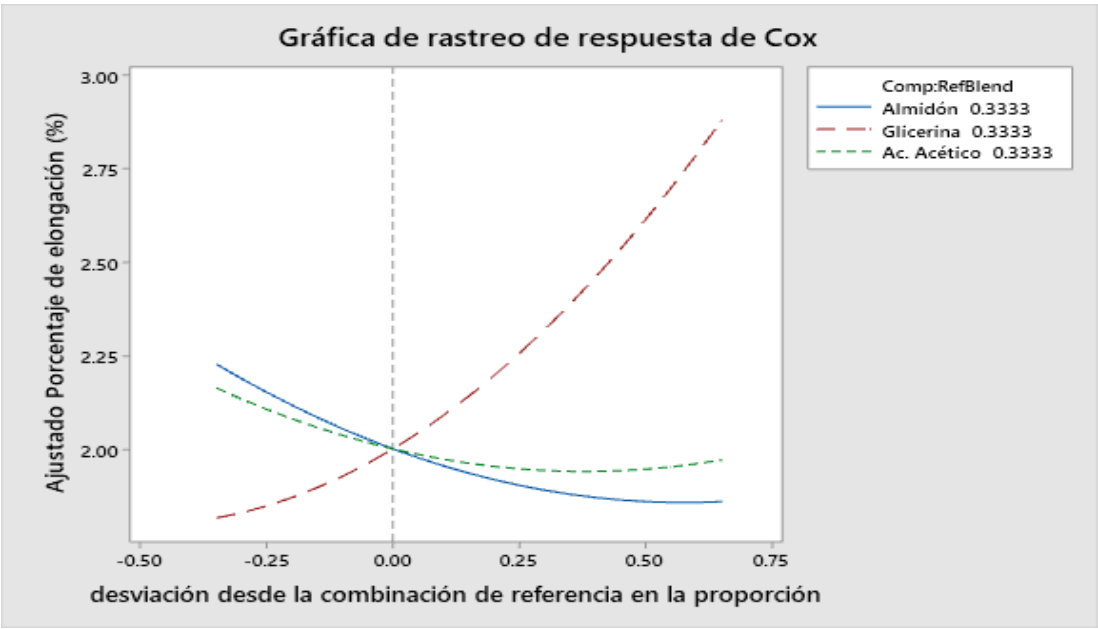


Figura 38. Grafica de rastreo de respuesta Cox.

Fuente: Minitab® Statistical Software

La Figura 38, muestra el rastreo de respuestas, en ello se manifiesta que durante la realización de mezclas al aumentar la cantidad de glicerina se extiende el Porcentaje de elongación de manera considerable, mientras que si se le aumenta la cantidad de almidón ácido acético disminuye el Porcentaje de elongación, de la misma manera sucede con el ácido acético pero en menor proporción.

3.4.3.4. Optimización individual del porcentaje de elongación

De acuerdo con el objetivo de la investigación, se alcanza la optimización de la propiedad mecánica, lo que nos permite obtener la mejor caracterización del material a partir de los datos del ensayo mecánico. De esta manera, se presentan las predicciones de los valores en relación con los factores de entrada, tales como almidón, glicerina y ácido acético.

Componentes

Almidón	=	0
Glicerina	=	1
Ac. Acético	=	0

Respuestas pronosticadas

Porcentaje de elongación	=	2.90974	,	deseabilidad =	0.549007

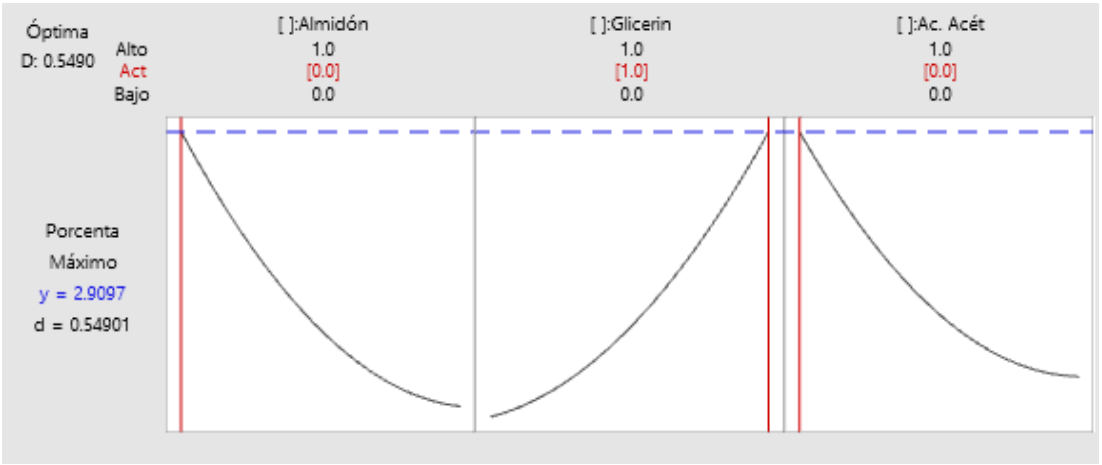


Figura 39. Optimización individual del porcentaje de elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.4.4. Optimización Global

Para la optimización global de los resultados, se utilizó una gráfica que permite predecir múltiples respuestas. Se comprobó que se alcanzan resultados óptimos al aplicar ciertas condiciones.

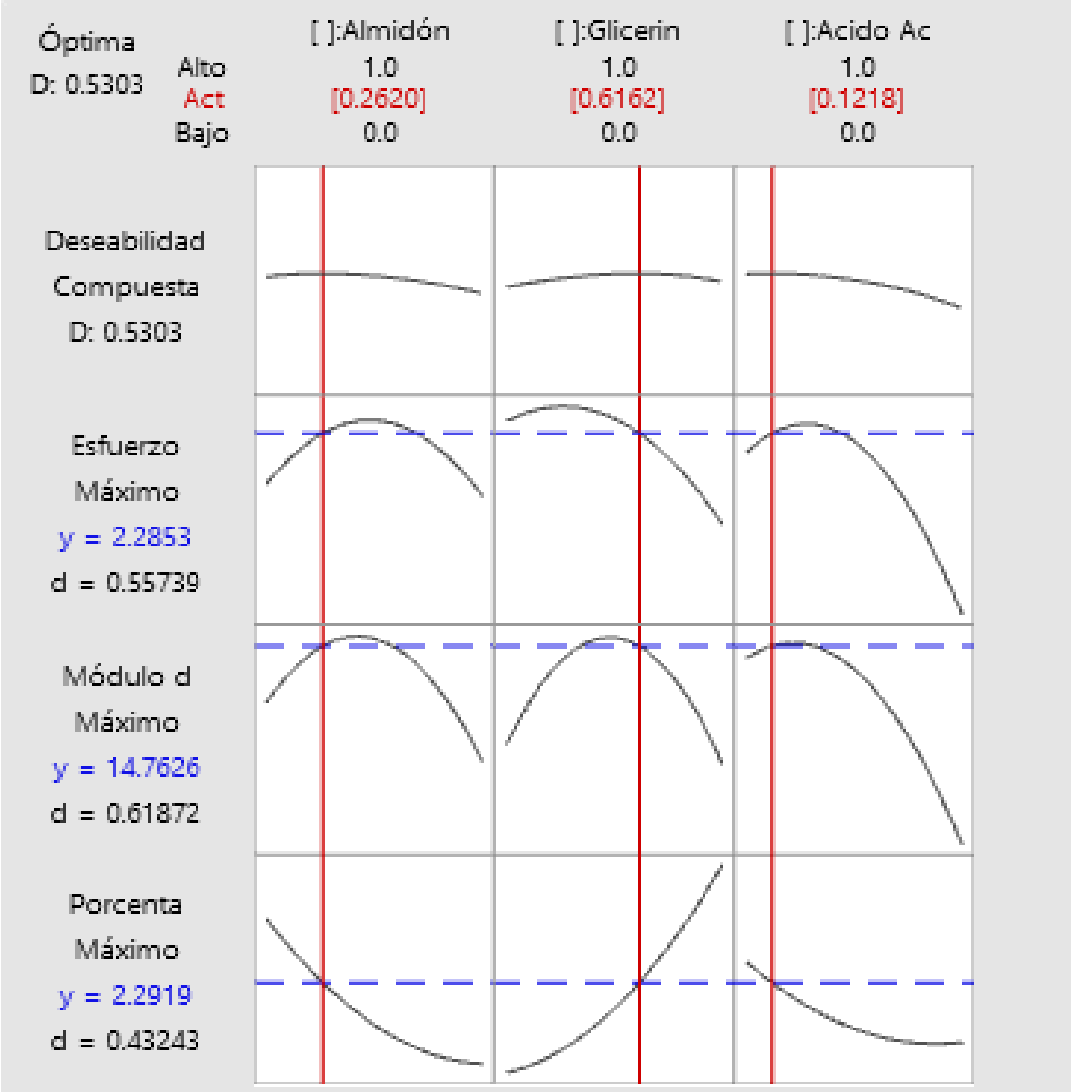


Figura 40. Optimización Global.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Luego de revisar y analizar los datos de cada una de las propiedades mecánicas y optimizar cada una de ellas por separado, se lleva a cabo una optimización global mediante la combinación de las respuestas evaluadas. En la siguiente Tabla 50, se detallan los valores de los parámetros de entrada (factores) que optimizan las tres respuestas de salida (propiedades mecánicas). La combinación de factores presentada aprovecha estratégicamente las propiedades estudiadas.

Tabla 50. Optimización Global.

Parámetros de entrada		
Componentes		**valor**
Almidón		0.262043
Glicerina		0.616162
Ácido Acético		0.121795
Respuesta de salida		
Ensayo	**Propiedades**	**Ajustes**
Tracción	Esfuerzo máximo (MPa)	2.2853
	Módulo de elasticidad (MPa)	14.7626
	Porcentaje de elongación (%)	2.2919

Fuente: Minitab® Statistical Software

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los parámetros establecidos para la obtención del almidón fueron los siguientes: selección de la materia prima, lavado y desinfección del producto, para la extracción del almidón se optó por la utilización de extractor de jugos reemplazando a la licuadora, ya que este no necesita de agua para su extracción, el modo de secado fue establecido a temperatura ambiente, para no alterar las propiedades del almidón.
- Los parámetros establecidos para la obtención del biopolímero fueron los siguientes: la temperatura ambiente para el secado, el material del molde, plastificantes, fracciones volumétricas de cada componente, tiempo de curado y la temperatura para la mezcla de los componentes.
- Se obtuvieron las probetas de acuerdo con la matriz de diseño previamente establecida. La caracterización de las probetas se llevó a cabo siguiendo las normas ASTM D 638 para tracción, INTE ISO 14855-1 para biodegradabilidad, las mismas norman especifican las dimensiones y parámetros para los ensayos. Las propiedades evaluadas incluyeron esfuerzos máximos, módulos de elasticidad, porcentaje de alargamiento.
- Se evaluaron las propiedades mecánicas a tracción del bioplástico del almidón de la oca. Esto se logró siguiendo los lineamientos establecidos mediante el método estadístico empleado, que se basa en la caracterización de 10 mezclas o combinaciones y sus respectivas tres réplicas. Inicialmente, se dispone de una matriz de diseño de experimentos DOE por mezclas con las especificaciones del método estadístico mencionado al comienzo de este trabajo técnico. Este diseño contiene las combinaciones o mezclas necesarias para la caracterización, permitiendo así obtener la superficie de respuesta y realizar todo el análisis estadístico.
- Los diferentes niveles de biodegradabilidad observados se atribuyen a la cantidad de almidón utilizado, el porcentaje de plastificantes y las variaciones de temperatura durante los ensayos. Estos factores influyeron en la degradación del material, variando entre una pérdida de peso del 37.21% al 53.36% en el aire y 39.18% a 58.77% en la tierra.

- Los mejores resultados para el esfuerzo máximo a tracción se alcanzaron utilizando la cantidad almidón de 50 %, glicerina 0% y ácido acético de 50%. Alcanzando una resistencia de 4.10 MPa, a su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 58.77% en la tierra y 50.43% en el aire.
- Para el módulo de elasticidad a tracción óptimo, se empleó la cantidad almidón de 50 %, glicerina 0% y ácido acético de 50%. Alcanzando un módulo de 23.86 MPa, a su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 58.77% en la tierra y 50.43% en el aire.
- En cuanto a la elongación a tracción óptima, se logró utilizando la cantidad almidón de 33.33 %, glicerina 33.33% y ácido acético de 33.33%. Alcanzando una elongación de 5.30%, a su vez tiene un porcentaje de biodegradabilidad de pérdida de peso de 54.03% en la tierra y 48.83% en el aire.
- Se logró optimizar mediante el uso del software Minitab, logrando una deseabilidad global de 0.5303. En cuanto a la optimización de respuesta del bioplástico, se obtuvieron los siguientes resultados: un esfuerzo máximo de tracción de 2.2853 MPa, un módulo de elasticidad en tracción de 14.7626 MPa y un porcentaje de elongación de 2.2919 %.

4.2. Recomendaciones

- Explorar nuevos métodos de extracción de almidón para maximizar la utilización del almidón presente en la materia prima y mejorar el rendimiento.
- Cuando se obtiene el almidón de la oca, la fibra también conocida como bagazo que se genera como un desecho. Es aconsejable también utilizarla para fabricar plásticos biodegradables.
- Los resultados obtenidos indican que las mezclas ensayadas proporcionan un esfuerzo a la tracción y una deformación en el punto de fractura de nivel moderado. Para mejorar estas características, es posible elaborar mezclas con otros polímeros biodegradables, incorporar agentes compatibilizantes o añadir cargas, fibras u otro polímero sintético en pequeñas proporciones.
- Es importante investigar los materiales de los moldes para la realización de probetas, asegurándose de que la superficie sea lisa para lograr una correcta adherencia de los materiales.
- Al realizar la prueba de biodegradabilidad en la tierra, es importante limpiar bien las probetas con agua destilada, para que caiga toda la tierra adherida en la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] G. Ruiz Aviles, «Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca», *Univ. EAFIT*, vol. 2, n.º 4, p. 28, 2006.

[2] J. Meneses, C. M. Corrales, y M. Valencia, «Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca», *Rev. EIA*, n.º 8, p. 67, 2007.

[3] H. A. Alarcón Cavero y E. Arroyo Benites, «Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa», *Rev. Soc. Quím. Perú*, vol. 82, n.º 3, pp. 315-323, sep. 2016, doi: 10.37761/rsqp.v82i3.92.

[4] D. M. Mora Campaña, S. E. López Sampedro, M. R. Chuiza Rojas, y L. C. Carrera_Beltrán, «Obtención de una biopelícula a partir de almidón de melloco rosado (Ullucus tuberosus)», *Dominio Las Cienc.*, vol. 8, n.º 3, p. 23, 2022.

[5] Noticias ONU, «El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables | Noticias ONU», Noticias ONU Mirada global Historias humanas. Accedido: 11 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302

[6] M. Moskat, C. Bianco, y F. Isso, «Industria y mercado de plásticos en América Latina y el Caribe», *Google Docs*, p. 39, 2021.

[7] PRIMICIAS, «Ecuador es el tercer país de la región que más basura plástica importa», Primicias. Accedido: 11 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos-basura-ecuador/

[8] M. A. Riera, S. Maldonado, y R. Palma, «Residuos agroindustriales generados en ecuador para la elaboración de bioplásticos», *Rev. Ing. Ind.*, vol. 17, n.º 3, p. 21, ene. 2019, doi: 10.22320/S07179103/2018.13.

[9] AIMPLAS, «Tipos de materiales compuestos», AIMPLAS. Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/

[10] ConstruMats, «Materiales compuestos :: ConstruMats». Accedido: 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://construmats.webnode.es/products/materiales-compuestos/

[11] Interempresas Aeronáutica, «Innegra: el nuevo refuerzo en la industria de los materiales compuestos», Interempresas. Accedido: 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.interempresas.net/Aeronautica/Articulos/244627-Innegra-el-nuevo-refuerzo-en-la-industria-de-los-materiales-compuestos.html

[12] INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING, «Materiales compuestos: ¿Qué son y para qué sirven?» Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.infinitiaresearch.com/noticias/materiales-compuestos-que-son-y-para-que-sirven/

[13] P. Fernandez, V. Martinez, M. Valencia, y J. Cruz, «Aplicación de los materiales compuestos de matriz metálica en el sector electrico y electrónico», n.º 10, 2006, [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n149/a11v73n149.pdf

[14] A. Besednjak, *Materiales Compuestos*. Univ. Politèc. de Catalunya, 2009. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=gMSg5rURr6sC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

[15] F. Stupenengo, «Materiales y materias primas». Colección Encuentro Inet, Ciudad Autónoma de Buenos Aires., p. 27, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf

[16] PEREZCAMPS, «▷ Materiales compuestos: tipos, ejemplos y usos», PerezCamps. Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://perezcamps.com/es/materiales-compuestos/

[17] MATERIALES INTELIGENTES, «Materiales polimericos», Materiales Inteligentes. Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://materialesinteligentes.win/materiales-polimericos/

[18] E. Rodríguez-Alba *et al.*, «La Ciencia de los Polímeros Biodegradables», vol. 10, p. 15.

[19] REHAU, «▷ ¿Qué es un polímero o material polimérico? - REHAU». Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.rehau.com/es-es/que-es-un-polimero

[20] F. López Carrasquero, *Fundamentos de Polímeros*. [object Object], 2014. doi: 10.13140/RG.2.1.2573.0000.

[21] J. Vargas Adames, «Diseño y modelización de procesos de extrusión reactiva heterogénea en la fabricación de nitrocelulosa», mar. 2022, Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14352/3519

[22] E. N. F. Peralta y Y. L. G. Perdomo, «Análisis de las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado para utilizarlo como material de sello en juntas de pavimentos rígidos y compararlo con las propiedades de los sellos convencionales».

[23] ROVI PACKAGING, «¿Qué significa biodegradable? Todo lo que debes saber», Rovi Packaging. Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.rovipackaging.com/blog/2020/02/04/que-significa-biodegradable/

[24] CANALES SECTORIALS INTEREMPRESAS, «Qué es biodegradable», Interempresas. Accedido: 18 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/263319-Que-es-biodegradable.html

[25] Zschimmer & Schwarz, «¿Qué son los biopolímeros y para qué se utilizan en la industria?», ZS España. Accedido: 19 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-biopolimeros/

[26] Polyexcel, «Polímero biodegradable: una alternativa sostenible», Polyexcel. Accedido: 19 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://polyexcel.com.br/es/productos/polimero-biodegradable-una-alternativa-sostenible/

[27] K. Jõgi y R. Bhat, «Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production», *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 18, p. 100326, dic. 2020, doi: 10.1016/j.scp.2020.100326.

[28] B. Imre, L. García, D. Puglia, y F. Vilaplana, «Reactive compatibilization of plant polysaccharides and biobased polymers: Review on current strategies, expectations and reality», *Carbohydr. Polym.*, vol. 209, pp. 20-37, abr. 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.12.082.

[29] M. Hernández-Medina, J. G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero, y D. Betancur-Ancona, «Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México», *Ciênc. E Tecnol. Aliment.*, vol. 28, n.º 3, pp. 718-726, sep. 2008, doi: 10.1590/S0101-20612008000300031.

[30] P. Pineda-Gómez, D. F. Coral, M. L. Arciniegas, A. Rorales-Rivera, y M. E. Rodríguez García, «Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido», *Ing. Cienc.*, vol. 6, n.º 11, pp. 129-141, jun. 2010.

[31] Laboratuvar, «Prueba estándar ASTM D883 para plásticos». Accedido: 28 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.laboratuar.com/es/

[32] J. A. Posada-Duque y C. A. Cardona-Alzate, «Validation of Glycerin Refining Obtained as a by-Product of Biodiesel Production*», 2010.

[33] M. I. Matías, «"LA IMPORTANCIA DEL AGUA DESTILADA".», p. 2, 2022.

[34] H. E. Benassatti, L. M. Marfil, y M. Occhionero, «Acido acético: su capacidad desinfectante», *Acta Bioquím Clín Latinoam*, pp. 411-9, 1994.

[35] UNED, «Ensayos en materiales polímeros». Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,25604862,93_25884686&_dad=portal&_schema=PORTAL&idAsignatura=21155076

[36] PH Technology, «Propiedades mecánicas de plásticos para la industria», PH Technology. Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://ph-technology.net/propiedades-mecanicas-de-plasticos-para-la-industria/

[37] P. N. Meza Ramos, «Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio», 2016, Accedido: 28 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2016

[38] J. Yenque Dedios, E. Santos De La Cruz, J. Salas Bacalla, O. Feliciano Muñoz, y A. Lavado Soto, «Caracterización y determinación de ecotipos de oca(oxalis tuberosa), para el procesamiento de harinas en la Quebrada de Ancash, distrito y provincia de Yungay,

Región Ancash.», *Ind. Data*, vol. 10, n.º 1, p. 007, mar. 2014, doi: 10.15381/idata.v10i1.5925.

[39] N. Cruz, K. Y. V. Gomez, y G. T. C. Delgado, «Extracción y caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de Oca (Oxalis tuberosa)», vol. 4, 2019, Accedido: 14 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://proceedings.science/slaca/slaca-2019/trabalhos/extraccion-y-caracterizacion-fisicoquimica-y-reologica-del-almidon-de-oca-oxalis?lang=pt-br

[40] N. R. Yeole y V. Parthasarthy, «Design of experiments (DOE) for adsorptive desulfurization (ADS) of liquid fuels – A review», *Mater. Today Proc.*, vol. 57, pp. 1613-1618, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.230.

[41] B. C. Y. Lee, M. S. Mahtab, T. H. Neo, I. H. Farooqi, y A. Khursheed, «A comprehensive review of Design of experiment (DOE) for water and wastewater treatment application - Key concepts, methodology and contextualized application», *J. Water Process Eng.*, vol. 47, p. 102673, jun. 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102673.

[42] A. Abraham Eben Andrews, J. Jensin Joshua, G. Ravikumar Solomon, B. Gokul, y K. Srinath, «Optimizing machining parameters of carbon steel EN24 to minimize surface roughness and tool wear», *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 3902-3906, ene. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.246.

[43] P. Ravichandran, C. Anbu, B. Meenakshipriya, y S. Sathiyavathi, «Process parameter optimization and performance comparison of AISI 430 and AISI 1018 in resistance spot welding process», *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 3389-3393, ene. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.197.

ANEXOS

Anexo 1. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 1)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 1

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-01	P1-02	P1-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	2,25	2,52	2,26
ANCHURA [mm]	13,21	11,94	10,63
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	29,72	30,09	24,02
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	7,358,E+00	7,176,E+00	1,177,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	30,05	30,49	45,34
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,011	1,013	1,887
CARGA MAXIMA [N]	32,83	32,40	50,38
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,105	1,08	2,10
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	2,12	3,48	3,56
OBSERVACIONES:			

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

Aprobado por:

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 2. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 2)**

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1 — **Nº 2**

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	4	5	6
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-01	P2-02	P2-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	2,24	1,75	2,28
ANCHURA [mm]	11,25	11,48	11,71
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	25,20	20,09	26,70
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	7,608,E+00	1,798,E+01	1,062,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	19,21	42,80	28,69
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0,762	2,130	1,075
CARGA MAXIMA [N]	21,01	48,81	34,18
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0,834	2,43	1,28
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	2,22	2,86	5,30
OBSERVACIONES:			

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

Aprobado por:

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 3. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 3)**

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 3

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	7	8	9
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P3-01	P3-02	P3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,85	1,47	2,16
ANCHURA [mm]	12,49	12,47	12,55
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	23,11	18,33	27,11
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,171,E+01	2,366,E+01	1,697,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	77,32	69,81	68,50
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	3,346	3,809	2,527
CARGA MAXIMA [N]	85,88	75,23	77,48
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3,717	4,10	2,86
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	4,90	2,64	2,42

OBSERVACIONES:

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
ivinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 4. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 4)**

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 4

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	10	11	12
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P4-01	P4-02	P4-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,51	1,57	1,88
ANCHURA [mm]	11,50	11,37	11,72
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	17,37	17,85	22,03
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1,890,E+01	1,576,E+01	1,451,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	46,15	42,12	49,60
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2,658	2,360	2,251
CARGA MAXIMA [N]	53,33	48,38	56,70
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3,071	2,71	2,57
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	2,04	1,10	4,94
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
ivinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 5. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 5)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1 — **Nº 5**

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P5-01	P5-02	P5-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	2,08	1,78	1,65
ANCHURA [mm]	13,53	11,82	14,21
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	28,14	21,04	23,45
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9,248,E+00	1,002,E+01	1,053,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	29,33	32,42	41,49
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,042	1,541	1,770
CARGA MAXIMA [N]	34,19	37,44	47,56
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,215	1,78	2,03
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3,10	2,36	1,00
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 6. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 6)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 6

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	16	17	18
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P6-01	P6-02	P6-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	2,55	1,82	2,08
ANCHURA [mm]	16,34	11,95	12,97
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	41,67	21,75	26,98
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,217,E+01	3,536,E+01	2,046,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	96,02	81,83	62,72
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2,305	3,762	2,325
CARGA MAXIMA [N]	106,29	92,54	73,26
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	2,551	4,25	2,72
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	2,22	2,84	3,18
OBSERVACIONES:			

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

Aprobado por:

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 7. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 7)**

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 7

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	19	20	21
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P7-01	P7-02	P7-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,38	1,85	1,7
ANCHURA [mm]	12,50	13,21	12,07
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	17,25	24,44	20,52
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1,204,E+01	9,129,E+00	9,673,E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	36,85	39,44	32,18
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2,136	1,614	1,569
CARGA MAXIMA [N]	42,12	45,55	37,30
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	2,442	1,86	1,82
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0,60	1,28	1,58
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba / Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 8. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 8)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 8

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	22	23	24
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P8-01	P8-02	P8-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,56	1,72	1,81
ANCHURA [mm]	12,30	12,43	11,23
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	19,19	21,38	20,33
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1,581,E+01	1,519,E+01	1,716,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	33,81	36,71	37,09
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,762	1,717	1,825
CARGA MAXIMA [N]	36,92	42,75	42,58
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,924	2,00	2,09
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1,32	0,50	0,28

OBSERVACIONES:

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 9. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 9)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 9

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	25	26	27
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P9-01	P9-02	P9-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,46	1,89	1,43
ANCHURA [mm]	15,18	11,85	13,74
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	22,16	22,40	19,65
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	7,529,E+00	8,413,E+00	6,412,E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	30,32	36,79	21,11
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,368	1,643	1,074
CARGA MAXIMA [N]	34,54	41,72	24,88
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,559	1,86	1,27
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1,32	0,64	0,48
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 10. Reporte de ensayos a tracción del bioplástico (**CASO 10)**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 10

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE BIOPLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	14-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. , LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	28	29	30
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P10-01	P10-02	P10-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	1,98	1,78	2,45
ANCHURA [mm]	12,00	11,42	12,3
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	23,76	20,33	30,14
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9,182,E+00	1,204,E+01	6,928,E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	37,59	32,41	36,59
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,582	1,594	1,214
CARGA MAXIMA [N]	43,35	38,05	42,72
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,825	1,87	1,42
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1,72	0,32	0,38
OBSERVACIONES:			

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

Aprobado por:

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

Anexo 11. Reporte de ensayos a tracción de la funda plástica (**TIA).**

LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN — **Denominación:** RG 18 - 1

Nº 11

SOLICITADO POR:	Nelly Tocalema
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO - MECÁNICA DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA OCA (Oxalis Tuberosa)"
DIRECCION:	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UTA
TIPO DE MATERIAL:	PLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 04
NORMA UTILIZADA:	ASTM D638 - 14
FECHA DE ENSAYO:	21-may-24

EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE: 7136 **CERTIFICADO:** LNM-F-2016500064D **CÓD IDENT:** M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	31	32	33
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P11-01	P11-02	P11-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,04	0,04	0,04
ANCHURA [mm]	12,05	11,88	11,89
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm^2]	0,48	0,48	0,48
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,768,E+01	5,087,E+01	3,360,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	2,51	2,81	2,90
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	5,200	5,920	6,100
CARGA MAXIMA [N]	3,03	3,72	3,36
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	6,289	7,82	7,05
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	74,00	89,48	67,96
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:

LENMAV LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES Riobamba - Ecuador

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

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955
jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador