



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agroindustrias

Tema:

“EXTRACCIÓN DE LA PECTINA MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ AMARILLA (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) Y LIMÓN TAHITÍ (*Citrus aurantifolia tahiti*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD”

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de INGENIERO/A AGROINDUSTRIAL Otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de AGROINDUSTRIAS

Autoras:

Chuquiana Mopocita Nataly Jacqueline

Sinchi Carchichabla Erika Geovanna

Tutor:

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza Msc.

GUARANDA – ECUADOR

2025

TEMA

“EXTRACCIÓN DE LA PECTINA MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ AMARILLA (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) Y LIMÓN TAHITÍ (*Citrus aurantifolia tahiti*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD.”

REVISADO Y APROBADO POR:



.....

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza Mgter.

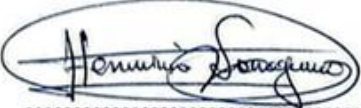
TUTOR



.....

Ing. Iván Marcelo García Muñoz Mgter.

PAR LECTOR



.....

Dra. Herminia del Rosario Sanaguano Salguero PhD.

PAR LECTORA

CERTIFICACION DE AUTORIA

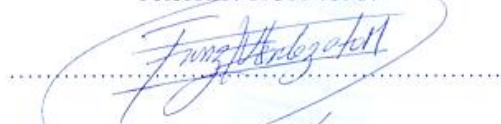
Yo Nataly Jacqueline Chuquiana Mopocita, con C.I. 1805323852 y Erika Geovanna Sinchi Carchichabla con CI. 0302649793, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza

e-mail: fverdezoto@ueb.edu.ec

Teléfono: 0939941967



Nataly Jacqueline Chuquiana
Mopocita

Erika Geovanna Sinchi Carchichabla

e-mail: esinchi@mailes.ueb.edu.ec

e-mail:

nchuquiana@mailes.ueb.edu.ec

Teléfono: 098996528

Teléfono: 0998198175





DOCTORA MSc. GINA CLAVIJO CARRIÖN
Notaria Cuarta del Cantón Guaranda.

ESCRITURA N° 20250201004P00396

DECLARACIÓN JURAMENTADA
OTORGAN:
NATALY JACQUELINE CHUQUIANA MOPOCITA; y,
ERIKA GEOVANNA SINCHI CARCHICHABLA
CUANTÍA: INDETERMINADA
Di 2 COPIAS

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy lunes a los doce días del mes de mayo del año dos mil veinticinco, ante mí DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÖN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura las señoras: NATALY JACQUELINE CHUQUIANA MOPOCITA, de estado civil soltera; y, ERIKA GEOVANNA SINCHI CARCHICHABLA, de estado civil soltera, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Las comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatorianas, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación ambas estudiantes, domiciliada la primera en la parroquia Chávez, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve nueve ocho uno nueve ocho uno siete cinco; y, con correo electrónico nchuquiana@mailes.ueb.edu.ec; y, la segunda en la parroquia Veintimilla, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve ocho nueve seis cinco dos ocho nueve; y, con correo electrónico esinchi@mailes.ueb.edu.ec, hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocerles doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificaciones, en base lo cual obtengo las certificaciones biométricas del Registro Civil, además por petición expresa de las comparecientes adjunto sus documentos personales como son las cédulas y los certificados de votaciones, como habilitantes a esta escritura. Advertidas las comparecientes por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinadas que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidas sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada: Nosotras: NATALY JACQUELINE CHUQUIANA MOPOCITA, de estado civil soltera; y, ERIKA GEOVANNA SINCHI CARCHICHABLA, de estado civil soltera, declaramos que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de nuestra absoluta autoría, titulado "EXTRACCIÓN DE LA PECTINA MEDIANTE HIDROLISIS ÁCIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ AMARILLA (*Passiflora edulis* var, *Flavicarpa*) Y LIMÓN TAHITI (*Citrus aurantifolia Tahiti*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD", previo a la obtención del título de Ingenieras Agroindustriales, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agroindustria.- Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leída que les fue a las comparecientes íntegramente por mí la Notaria, aquellas se afirman y ratifican en todas sus partes y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo cuanto doy fe.-----

SRTA. NATALY JACQUELINE CHUQUIANA MOPOCITA.

180532385-2

SRTA. ERIKA GEOVANNA SINCHI CARCHICHABLA.

C.C. 030264979-3

DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÖN
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA.



5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Submitted works
- Internet sources

Top Sources

- 0%  Internet sources
- 5%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

Replaced Characters

34 suspect characters on 9 pages

Letters are swapped with similar characters from another alphabet

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.



DEDICATORIA

A mis padres quienes, con su amor incondicional, paciencia y apoyo han sido la base de todos mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y por estar siempre a mi lado, confiando en mí incluso en los momentos más difíciles. Este logro es el reflejo de todo lo que han hecho por mí.

A mi hermano, mi compañero de aventuras y mi inspiración. Tu alegría, entusiasmo y apoyo constante han sido un motor en mi vida. Gracias por recordarme que los sueños se alcanzan con determinación y paciencia.

A mi mejor amiga y mi mejor amigo Adrian, quienes han sido mi apoyo incondicional en cada paso de este camino. Gracias por su compañía, por sus palabras de aliento en los momentos de duda y por celebrar cada logro conmigo. Su amistad ha sido un pilar fundamental en este proceso, recordándome siempre que los desafíos se enfrentan mejor con amigos verdaderos a mi lado.

A cada uno de los docentes y técnicos, quienes con su dedicación, conocimiento y paciencia han sido fundamentales en mi formación. Gracias por creer en mí y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí mismo.

Y a mi mascota Togo por ser el compañero más fiel y por alegrar mis días con tu amor incondicional y tu compañía silenciosa pero reconfortante. Tu presencia siempre me dio tranquilidad en los momentos de mayor estrés.

A todos ustedes, les dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud, porque este logro no habría sido posible sin su apoyo.

Nataly Chuquiana

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, quien con su infinita sabiduría y bondad me ha dado la vida y salud, guiado en cada paso de esta etapa, dándome la fortaleza y la luz para superar los obstáculos presentados y lograr mis metas.

A mis padres José y Libia por ser los principales promotores de mis sueños, por su amor incondicional, su apoyo incansable, por ser mi ejemplo de esfuerzo y dedicación por sus enseñanzas y sacrificios que han sido la base de todo lo que he logrado, por todos sus consejos y valores que me han inculcado a lo largo de este camino, este logro es tan suyo como mío.

A mi hermano Jhonny, por su apoyo incondicional y comprensión a lo largo de mis estudios, gracias por sus palabras de ánimo constantes, por creer en mí en cada momento, por su paciencia y ayuda constante y a toda mi familia por sus consejos y palabras de ánimo.

A mi novio Edgar por estar en todo este proceso, por creer en mí y por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida académica, gracias por su paciencia, palabras de aliento y amor que ha hecho esta etapa mucho más especial.

A mis amigas, por formar parte de toda esta etapa, por brindarme siempre su apoyo incondicional y ser mis cómplices en esta aventura, gracias por cada risa, cada momento compartido y por estar siempre a mi lado, su amistad ha hecho este viaje mucho más bonito.

Erika Sinchi

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la paciencia necesarias para superar cada obstáculo en este camino. También quiero expresar mis eternos agradecimientos a mis padres y hermano quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome siempre su apoyo incondicional y motivación para alcanzar cada uno de mis objetivos personales y académicos. Gracias a su cariño, he encontrado la fuerza para perseguir mis sueños y enfrentar las adversidades con determinación, también les agradezco por el respaldo material y económico que me permitió concentrarme plenamente en mis estudios y mantenerme enfocado en mi propósito. También agradezco a mi mascota Togo por su compañía y cariño incondicional. Su presencia hizo más llevaderas las largas horas de estudio y trabajo.

A mi mejor amiga y mi mejor amigo Adrian, quienes han sido un apoyo inquebrantable a lo largo de este desafiante camino. Su amistad ha sido un refugio en los momentos de incertidumbre y su confianza en mí me ha impulsado a seguir adelante cuando las fuerzas flaqueaban.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutor por su invaluable dedicación y paciencia. Su guía y consejos han sido fundamentales en este proceso, aportando claridad y dirección en cada paso del camino. Quiero también agradecer a cada uno de los docentes que han aportado con sus conocimientos académicos, y que ha sido de gran utilidad para mi crecimiento profesional. También agradezco al Departamento de Investigación por el apoyo brindado, el cual ha sido esencial para alcanzar las metas propuestas y culminar exitosamente este proyecto.

Finalmente, a todos mis amigos, compañeros y personas que, de alguna manera, han formado parte de este proceso. Su apoyo, palabras de ánimo y confianza en mí han sido una gran fuente de motivación. A todos ustedes, les agradezco de corazón, porque este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo y del amor que he recibido de cada uno.

Nataly Chuquiana

AGRADECIMIENTO

Primeramente, gracias a Dios por brindarme vida y salud, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino por cuidarme y guiarme siempre.

Gracias a mis padres y hermano por ser mi base fundamental, por no dejarme sola y estar pendiente en todo momento, gracias por creer en mí, este logro es un reflejo de su dedicación y amor hacen posible este logro académico.

Gracias a mis docentes y autoridades encargadas de mantener las funciones en la Universidad Estatal de Bolívar por impartir sus conocimientos y enseñanzas, formando profesionales capaces y con habilidades que nos servirán para nuestra vida laboral. Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis al Ing. Franz Verdezoto, gracias por su dedicación, paciencia, confianza, orientación y guía que han sido fundamental en la dirección y enriquecimiento en el desarrollo del presente trabajo investigativo.

A los lectores Dra. Herminia Sanaguano e Ing. Marcelo García, ya que con sus observaciones y comentarios constructivos han sido cruciales para la consolidación de este trabajo investigativo.

Al laboratorio de investigación por todo el apoyo brindado a lo largo de este proceso. Gracias a la dedicación, conocimiento y recursos proporcionados, pude llevar a cabo los experimentos y análisis necesarios para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco especialmente a la Ing. Erika Cortez, Ing. Maria Fernanda Quinteros e Ing. Isabel Paredes cuya orientación y consejos fueron fundamentales para el éxito de este proyecto. La colaboración y el ambiente de trabajo en el laboratorio fueron cruciales para superar los desafíos técnicos y científicos que se presentaron.

Erika Sinchi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág.
CAPÍTULO I.....	21
1.1 INTRODUCCIÓN	21
1.2 PROBLEMA.....	24
1.2.1 Planteamiento del problema	24
1.2.2 Formulación del problema.....	25
1.3 OBJETIVOS	26
• Objetivo general	26
• Objetivos específicos.....	26
1.4 HIPÓTESIS.....	27
1.4.1 Hipótesis nula	27
1.4.2 Hipótesis alternativa	27
CAPÍTULO II	28
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 Residuos agroindustriales	28
2.2 Residuos con potencial de generar bioplásticos.....	29
2.3 Maracuyá.....	30
2.3.1 Origen.....	30
2.3.2 Clasificación botánica del maracuyá.....	31
2.3.3 Producción de maracuyá en el ecuador	31
2.3.4 Composición física y química del maracuyá.....	33
2.3.5 Características de la cáscara de maracuyá.....	33
2.4 Limón de la variedad Tahití.....	34
2.4.1 Origen.....	34
2.4.2 Clasificación taxonómica del limón	34

2.4.3 Producción de limón Tahití en el ecuador	35
2.4.4 Composición física y química del limón	36
2.4.5 Características de la cáscara de limón	37
2.5 Pectinas	37
2.5.1 Definición	37
2.5.2 Estructura.....	38
2.5.3 Clasificación	38
2.5.4. Efecto de la temperatura, pH y tiempo en la extracción de pectina	39
2.6 Hidrólisis	40
2.6.1 Definición	40
2.6.2 Tipos de hidrólisis	40
2.6.3 Hidrólisis Ácida.....	41
2.7 Bioplásticos	42
2.8 Tipos de bioplástico	43
2.8.1 Bioplásticos derivados de biomasa.....	43
2.8.2 Bioplásticos biodegradables	44
2.8.3 Polímeros biocompatibles	44
2.9 Parámetros de calidad de un bioplástico de baja densidad	44
2.10 Tipos de plastificantes.....	45
2.10.1 Glicerina o glicerol	46
2.10.2 Sorbitol	46
2.10.3 Gelatina sin sabor o grenetina	47
2.11 Biopolímero	47
2.12 Biodegradabilidad de un polímero	48
2.13 Tiempo de biodegradabilidad del bioplástico	48
2.14 Humedad	49

2.15	pH.....	49
2.16	Absorción de agua.....	49
2.17	Tensión.....	50
2.18	Elasticidad.....	51
CAPÍTULO III.....		52
3. MARCO METODOLÓGICO		52
3.1 Ubicación de la investigación.....		52
3.2. Metodología.....		52
3.2.1	Material en estudio.	52
3.2.2	Factores en estudio.	54
3.2.3	Tratamientos.....	55
3.2.4	Tipo de diseño experimental o estadístico.	56
3.2.5	Características del experimento.....	56
3.2.6	Pruebas de rangos múltiples.	57
3.3 Manejo de la investigación		57
3.3.1 Caracterización de la materia prima análisis proximal y elemental		57
3.3.1.1	Humedad	57
3.3.1.2	Ceniza.....	58
3.3.1.3	pH.....	59
3.3.1.4	Contenido de materia Volátil	60
3.3.3 Descripción del proceso de extracción de pectina.....		61
3.3.4 Diagrama de flujo de la extracción de la pectina.....		64
3.3.5 Porcentaje de rendimiento de pectina		65
3.3.6 Descripción del proceso de obtención del bioplástico.....		65
3.3.7 Diagrama de flujo para del proceso de obtención del bioplástico		67
3.3.8 Análisis y caracterización del bioplástico.....		67

3.3.8.1 Humedad	69
3.3.8.2 pH	70
3.3.8.3 Tensión	70
3.3.8.4 Absorción de agua	71
3.3.8.5 Elasticidad	72
3.3.8.6 Tiempo de biodegradabilidad	72
CAPÍTULO IV	74
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	74
4.1.1 Análisis estructural y elemental	74
4.1.2 Análisis proximal	75
4.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO.....	76
4.2.1 Análisis de la varianza (ANOVA) para el rendimiento de la obtención de la pectina.....	80
4.3 Elaboración del bioplástico	82
4.3.1 Formulación de bioplástico a partir de pectina de maracuyá y limón tahití.....	82
4.4 Determinación del mejor tratamiento en función de sus variables respuesta	84
4.4.1 Humedad	85
4.4.2 pH	88
4.4.3 Tensión	91
4.4.4 Absorción de agua	95
4.4.5 Elasticidad	98
4.4.6 Pruebas de biodegradabilidad (suelo, agua y ambiente)	101
4.5 Obtención de la lámina de bioplástico de baja densidad.....	106
4.6 Costos de producción a nivel de laboratorio.....	107

4.6.1 Costo de producción	107
4.7 Comprobación de hipótesis.....	108
4.7.1 Hipótesis nula (Ho)	108
4.7.2 Hipótesis alternativa (Ha).....	108
CAPÍTULO V	109
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1 CONCLUSIONES	109
5.2 RECOMENDACIONES.....	111
Bibliografía	112

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pág.
1.	Clasificación botánica del maracuyá	31
2.	Superficie (ha) Sembrada por Provincia en el Ecuador	32
3.	Producción (tm) Por Provincia en el Ecuador	32
4.	Clasificación botánica del limón Tahití	34
5.	Superficie, producción y rendimiento del limón Tahití	36
6.	Caracterización físico-química de los bioplásticos	45
7.	Localización de la investigación	52
8.	Diseño para la extracción de la pectina	54
9.	Diseño para la elaboración del plástico biodegradable	55
10.	Tratamientos para la obtención de la pectina	55
11.	Tratamientos para la elaboración del plástico biodegradable	56
12.	Anova	57
13.	Condiciones del proceso de hidrolisis ácida	63
14.	Análisis y pruebas realizadas al bioplástico	68
15.	Análisis estructural y elemental de las materias primas	74
16.	Rangos permitidos de la composición química de la cascara de limón y maracuyá	75
17.	Análisis proximal de las materias primas	75
18.	Cálculo rendimiento de pectina	76
19.	Porcentaje de rendimiento de pectina conforme a las condiciones de extracción	78
20.	Condiciones óptimas de extracción de la pectina	79
21.	Análisis de Varianza para % de pectina	80
22.	Pruebas de rangos múltiples para el % de pectina obtenido	81
23.	Formulación para determinar la concentración de variables	82
24.	Ensayos preliminares para determinar la formación de las bioplásticos	83
25.	Resultados en función de sus variables respuesta	84
26.	Porcentaje de humedad de los bioplásticos	85
27.	Análisis de Varianza para Porcentaje de humedad del bioplástico	86

28. Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la humedad	86
29. Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la humedad	87
30. pH de los bioplásticos	88
31. Análisis de Varianza para el pH del bioplástico	89
32. Pruebas de rangos múltiples para el factor A de pH	89
33. Pruebas de rangos múltiples para el factor B de pH	90
34. Tensión de los bioplásticos	91
35. Análisis de carga y esfuerzo máximo	92
36. Análisis de varianza de la fuerza de tensión de bioplástico	94
37. Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la fuerza de tensión	94
38. Resultados de la prueba de absorción de agua	95
39. Análisis de varianza de la absorción de agua del bioplástico	96
40. Pruebas de rangos múltiples para el factor A de absorción de agua	97
41. Datos de elasticidad del bioplástico	98
42. Resultados de ensayos de elasticidad para cada tratamiento	98
43. Análisis de varianza de la elasticidad del bioplástico	100
44. Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la elasticidad del bioplástico	100
45. Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en suelo	102
46. Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en agua	103
47. Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en ambiente	104
48. Resultados de la prueba de biodegradabilidad	105
49. Costo beneficio	107

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pág.
1.	Zonas productoras de maracuyá en el Ecuador	32
2.	Zonas productoras de limón Tahití en el Ecuador	35
3.	Análisis del rendimiento de la pectina de maracuyá y limón tahití	79
4.	Medias del factor A del porcentaje de pectina	81
5.	Ensayos de formulación de del bioplástico	84
6.	Medias del factor A de la humedad del bioplástico	87
7.	Medias del factor B de la humedad del bioplástico	87
8.	Medias del factor A de pH del bioplástico	90
9.	Medias del factor B de pH del bioplástico	90
10.	Resultados de la tensión de los bioplásticos	92
11.	Análisis de carga y esfuerzo máximo	93
12.	Medias del factor A de la fuerza de tensión del bioplástico	94
13.	Medias del factor A de la absorción de agua del bioplástico	97
14.	Análisis de elasticidad de los bioplásticos	99
15.	Resultados del mejor tratamiento de elasticidad T5	99
16.	Medias del factor B de la elasticidad del bioplástico	101
17.	Biodegradabilidad del bioplástico en suelo	102
18.	Biodegradabilidad del bioplástico en agua	103
19.	Biodegradabilidad del bioplástico en ambiente	104
20.	Resultados de la prueba de biodegradabilidad	105
21.	Obtención del bioplástico de baja densidad en base al mejor tratamiento	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Nº	Detalle	Pág.
1.	Mapa y coordenadas del laboratorio de vinculación de la UEB	125
2.	Mapa y coordenadas del laboratorio general de la UEB	125
3.	Glosario de términos técnicos	126
4.	Caracterización de la cáscara de maracuyá	127
5.	Caracterización de la cáscara de limón	128
6.	Características del biopolímero en base a sus variables	129
7.	Normativa empleada para determinar el contenido de humedad	131
8.	Normativa empleada para determinar el contenido de ceniza	132
9.	Normativas empleadas en la investigación para determinar el pH	133
10.	Normativas empleadas en la investigación para determinar el material volátil	134
11.	Normativa empleada para determinar el contenido de humedad del bioplástico	135
12.	Normativa empleada para determinar el contenido de pH del bioplástico	136
13.	Normativa empleada para determinar la tracción (elasticidad-tensión) del bioplástico	137
14.	Normativa empleada para determinar la absorción de agua del bioplástico	138
15.	Normativa empleada para determinar el tiempo de biodegradabilidad del bioplástico	139
16.	Resultados de pruebas mecánicas del mejor tratamiento	140
17.	Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Suelo	142
18.	Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Agua	143
19.	Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Ambiente	144
20.	Evidencia fotográfica del desarrollo del trabajo de investigación	145

RESUMEN

Este trabajo investigativo tiene como fin extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*) para elaborar bioplástico de baja densidad. Se caracterizó fisicoquímicamente las materias primas, en donde se determinó que la cáscara de maracuyá amarilla contiene 12,70% de humedad, 6,89% de cenizas, pH de 4,5 y 21,43% de celulosa y la cáscara del limón Tahití contiene 11,17% de humedad, 5,38% de cenizas, pH de 3,33 y 15,08 % de celulosa. La pectina se extrajo mediante la hidrólisis ácida en donde para determinar el mejor tratamiento se aplicó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial $A \times B \times C$ ($2 \times 2 \times 3$) con tres repeticiones dando como mejores resultados a los tratamientos T4 y T10 con un rendimiento de 22,99% y 1,48% que corresponde a la extracción con ácido cítrico a una temperatura de 80°C y a un pH de 2. Para la obtención del bioplástico, se realizaron pruebas para determinar la formulación adecuada con el diseño factorial $A \times B$ (2×3) con 3 repeticiones, se manejó 2 variables de concentración de pectina y 3 variables de concentración de plastificantes. El mejor bioplástico de baja densidad fue el T5 con una concentración de pectina de limón (2g), glicerol (1ml), ácido acético (1ml), agua destilada (23ml) esta formulación nos condujo a los siguientes resultados del análisis fisicoquímicos y mecánicos: la humedad (26,02%), pH (3,25), absorción de agua (70,48%). En lo que respecta a los ensayos de tracción de la lámina de bioplástico basada en la norma (ASTM D638) se obtuvo una tensión 13,18 MPa, un módulo de elasticidad de 6,78E+01 MPa con un 24,34% de elasticidad y un esfuerzo máximo 1,26 MPa, además la biodegradabilidad del bioplástico en 30 días en suelo se degradó (87,14%), en agua (72,15%) y en el ambiente (92,17%).

Palabras claves: Hidrólisis ácida, pectina, bioplástico, elasticidad, tensión, biodegradabilidad.

SUMMARY

This research work aims to extract pectin by acid hydrolysis from the peel of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) and Tahiti lemon (*Citrus aurantifolia* tahiti) to produce low-density bioplastic. The raw materials were physicochemically characterized, where it was determined that the yellow passion fruit peel contains 12.70% moisture, 6.89% ash, pH of 4.5 and 21.43% cellulose and the Tahiti lemon peel contains 11.17% moisture, 5.38% ash, pH of 3.33 and 15.08% cellulose. The pectin was extracted by acid hydrolysis where to determine the best treatment a completely randomized experimental design (DCA) was applied with AxBxC factorial arrangement (2x2x3) with three repetitions giving as best results to treatments T4 and T10 with a yield of 22.99% and 1.48% corresponding to extraction with citric acid at a temperature of 80°C and a pH of 2. To obtain the bioplastic, tests were carried out to determine the appropriate formulation with the AxB factorial design (2x3) with 3 repetitions, 2 variables of pectin concentration and 3 variables of plasticizer concentration were handled. The best low-density bioplastic was T5, which contained a concentration of lemon pectin (2 g), glycerol (1 ml), acetic acid (1 ml), and distilled water (23 ml). This formulation led to the following physicochemical and mechanical analysis results: humidity (26.02%), pH (3.25), and water adsorption (70.48%). Tensile testing of the bioplastic sheet based on ASTM D638 showed a tensile strength of 13.18 MPa, a modulus of elasticity of 6.78E+01 MPa, with 24.34% elasticity, and a maximum stress of 1.26 MPa. The bioplastic was also biodegradable within 30 days in soil (87.14%), water (72.15%), and the environment (92.17%).

Keywords: Acid hydrolysis, pectin, bioplastic, elasticity, tension, biodegradability.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Anualmente, se vierten al océano aproximadamente ocho millones de toneladas de residuos plásticos, y se ha evidenciado que la presencia de microplásticos en el suelo supera ampliamente la del ambiente marino, siendo entre cuatro y veintitrés veces mayor (Ecodes, 2024). En el año 2016, se presentaron cifras impactantes en el Foro Económico Mundial que mostraban que en ese momento circulaba en el medio marino el equivalente a 150 millones de toneladas de plástico, y que el 10% de los desechos plásticos terminarían en el océano, y que para 2050, según otras estimaciones, la cantidad de plástico en el océano será más basura que peces, y asimismo se prevé que tanto los microplásticos como los nanoplásticos experimenten un incremento significativo, llegando a duplicarse hacia el año 2030, impulsados por el consumo excesivo (Prieto, 2023)

Los plásticos tradicionales, fabricados a partir de compuestos derivados del petróleo, representan una amenaza considerable para el medio ambiente debido a su naturaleza no biodegradable. En este sentido, se han llevado a cabo importantes investigaciones para producir bioplásticos biodegradables con las mismas propiedades que los plásticos (Merchan, 2022)

En América Latina, Ecuador se destaca como uno de los mayores receptores de residuos plásticos. Según un informe publicado en 2021 por la Alianza Global para Alternativas a la Incineración (GAIA), la región se ha convertido en un destino emergente para la basura plástica global entre 2018 y enero de 2022. Durante ese periodo, Ecuador recibió desechos plásticos provenientes de 42 países repartidos en

tres continentes: América, Europa y Asia, siendo Estados Unidos el principal exportador de estos residuos al país. En Ecuador, se generan diariamente más de 13 mil toneladas de desechos, de las cuales aproximadamente el 94 % son depositadas en vertederos sin recibir tratamiento previo (Mariscal et al, 2023).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), los hogares ecuatorianos adoptan una actitud pasiva frente a la protección del medio ambiente y presentan bajos niveles de participación en prácticas de reciclaje. El mismo organismo reporta que en Ecuador se recolectan, en promedio, 12.613 toneladas diarias de residuos sólidos. En las zonas urbanas, cada habitante genera aproximadamente 0,83 kilogramos de desechos por día. Del total de residuos recolectados, un 44% corresponde a desechos inorgánicos, de los cuales el 11% está compuesto exclusivamente por plásticos. (Mariscal et al, 2023) Las cifras actuales sobre el uso y descarte de productos plásticos en Ecuador continúan siendo preocupantes. Un ejemplo claro de esta situación es la producción anual de aproximadamente 500 millones de fundas plásticas en el país (solo la mitad son recicladas o reutilizadas) (Cedia, 2023)

La cáscara de maracuyá es un subproducto de la agroindustria, que se desecha una cantidad de 39.000 kg/año como desperdicio durante el procesamiento de subproductos obtenidos de la misma, las investigaciones científicas han señalado la gran cantidad de propiedades que poseen en la Cáscara (mesocarpio), lo que conlleva a dar una gran oportunidad para su uso industrial de plásticos biodegradables, con buenas propiedades mecánicas Anualmente, cerca de 39.000 kilogramos de cáscara de maracuyá son descartados como residuo agroindustrial,

pese a sus propiedades mecánicas que la convierten en un recurso potencial para la fabricación de bioplásticos (Ángel & Manuel, 2020)

Los residuos del limón son subproductos de la agroindustria con una cantidad de 9.360 kg/año estos son desechados como desperdicio durante el procesamiento. La cáscara de limón es rica en pectina a medida que el limón va madurando existe una diferencia en las características de las pectinas.

Es por ello que se propone una alternativa de sustituir los plásticos artificiales por bioplásticos elaborados a partir de materias primas orgánicas y fácilmente degradables, en este caso se plantea aprovechar los residuos de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus Aurantifolia Tahití*) en la elaboración de bioplástico de baja densidad.

En los últimos años, el uso de polímeros procedentes de recursos renovables ha generado grandes expectativas, ya que los materiales procedentes de estas fuentes ofrecen alternativas sostenibles utilizando tecnologías respetuosas con el medio ambiente. De esta forma se obtiene el llamado plástico biodegradable, una línea de materiales para envases muy innovadora y con muchas perspectivas (Alucho et al, 2021)

1.2 PROBLEMA

1.2.1 Planteamiento del problema

La generación de residuos orgánicos resultado de la elaboración de pulpas, helados, etc. de maracuyá y de limón es un problema latente en el mundo (Merchan, 2022). En este proceso de extracción, diariamente se están generando un aproximado de 20.000 unidades de cáscaras de maracuyá y limón debido a que existen deficiencias en el manejo integral de los residuos (Moran, 2022). La gestión de los residuos provenientes de actividades agroindustriales en Ecuador resulta deficiente en relación con los impactos ambientales que generan. Frecuentemente, una parte considerable de estos desechos es arrojada sin control o depositada de manera inapropiada en botaderos a cielo abierto, así como en terrenos secos o espacios baldíos, según (Riera & Palma, 2020) Se señala que en Ecuador no se evidencia un uso eficiente de los residuos generados en los procesos agroindustriales ni de aquellos originados por las pérdidas en la etapa de postcosecha. Esta situación se debe, principalmente, al desconocimiento de su potencial valor y a la falta de métodos adecuados para su tratamiento y caracterización.

En la generación de desperdicios las cáscaras de frutas son uno de los inconvenientes que más problemas causa al medio ambiente y a la sociedad, particularmente en Quito se genera cada día 2 000 toneladas de basura y el 98% va a parar al relleno sanitario con el 57% de materia orgánica. (Vera & Anchundia, 2020) Una de las mayores productoras de residuos a partir de frutas son las empresas despulpadoras, según un análisis a empresas ecuatorianas realizado en el año 2018 por (Maldonado & Palma, 2021) estima que la empresa Huertosa genera 3250

kg/mes de residuos de maracuyá, y en la empresa Frutasi la cantidad estimada de residuos de limón 780 kg/mes. Entre el 50-60% de cáscaras de maracuyá y limón son desechadas y desaprovechadas dentro de la industria alimentaria lo cual provoca un grave problema de contaminación ambiental.

1.2.2 Formulación del problema

Los sectores agroindustriales que utilizan y generan grandes volúmenes de residuos plásticos deberán ajustarse a las nuevas normativas legales y demandas del mercado. En la actualidad, el tipo de plástico más utilizado sigue siendo aquel derivado de recursos fósiles y destinado a un solo uso, lo que agrava los desafíos ambientales asociados a su manejo, debido a la producción y consumo masivo de plásticos sintéticos, se buscan alternativas para la producción de materiales que puedan reemplazar a los plásticos sintéticos, que tengan las mismas propiedades físicas y tarden menos tiempo en descomponerse en la naturaleza, es por ello que como alternativa ante el uso desmedido de los plásticos se busca dar una solución mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

En función de lo expuesto previamente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo aprovechar los residuos de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*) para la elaboración de bioplástico de baja densidad?

1.3 OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) Y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*) para la elaboración de bioplástico de baja densidad.

- **Objetivos específicos**

- ✓ Realizar el análisis proximal y elemental de los residuos de cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*).
- ✓ Establecer las condiciones óptimas para la extracción de la pectina.
- ✓ Desarrollar una formulación para la elaboración de un plástico biodegradable.
- ✓ Determinar el mejor tratamiento del plástico biodegradable en función de las variables respuestas: tiempo de biodegradabilidad del bioplástico, humedad, pH, absorción de agua, tensión y elasticidad.
- ✓ Elaborar una lámina de plástico biodegradable con el mejor tratamiento.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis nula

- No es viable extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*).

$$H_o = T1 = T2 = T3 = T4 \dots \dots = Tn$$

1.4.2 Hipótesis alternativa

- Es viable extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*).

$$H_o \neq T1 \neq T2 \neq T3 \neq T4 \dots \dots \neq Tn$$

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos agroindustriales

Los residuos producidos en las actividades agroindustriales corresponden a biomasa resultante del procesamiento de materia orgánica, tanto de origen animal como vegetal, incluyendo productos derivados de cultivos agrícolas y frutas procesadas (Barragán et al., 2020). La cantidad y tipo de estos residuos dependen directamente de la procedencia de la materia prima y de los procesos de transformación aplicados; además, se distinguen por su elevado contenido de materia orgánica, en la que predominan compuestos como celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina (Hernández et al, 2020)

La gestión inadecuada de los residuos generados por las empresas agroalimentarias incide directamente en el equilibrio ambiental. La práctica de incinerar estos desechos o disponerlos en botaderos a cielo abierto y terrenos baldíos provoca una considerable contaminación del suelo, los recursos hídricos y otros ecosistemas naturales. Esta problemática impacta de manera negativa en la flora y fauna de las áreas afectadas, lo que a su vez repercute en la salud pública y en la economía de las comunidades locales (Aguiar et al, 2021)

Los residuos agroindustriales poseen un elevado potencial para contribuir a la economía circular, ya que pueden ser reutilizados como materias primas en diversos procesos productivos. Estos residuos se clasifican en dos categorías principales: por un lado, los residuos de campo, que incluyen hojas, tallos, vainas de semillas y otros restos que permanecen en el terreno tras la cosecha; y por otro lado, los residuos

generados durante los procesos de transformación, como melaza, cáscaras, bagazos, semillas, hojas, tallos, paja y pulpa, los cuales se producen después de convertir los cultivos en productos destinados al consumo final (Romero M. , 2022)

2.2 Residuos con potencial de generar bioplásticos

Ciertos bioplásticos se elaboran a partir de polímeros de origen natural, los cuales son utilizados en la fabricación de películas biodegradables. Entre estos se encuentran los hidratos de carbono, como el almidón, la celulosa y los alginatos; las proteínas; y los lípidos, como las aceras y los acetoglicéridos. Además, se emplean polímeros sintéticos biodegradables, entre los que destacan el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxicanoatos (PHA) y el polihidroxibutirato (PHB). (Riera & Palma, 2020)

Diversas investigaciones han confirmado la factibilidad de elaborar películas plásticas biodegradables y flexibles utilizando polímeros naturales, tales como el almidón de yuca y la pectina, así como materiales provenientes del olote de maíz, la papa, el plátano, entre otros. Estas películas constituyen una opción sostenible para aplicaciones en el envasado de alimentos. Actualmente, se dispone de métodos consolidados para la producción y procesamiento de películas biodegradables a base de almidón, e incluso se han registrado patentes relacionadas con la fabricación de almidón termoplástico (thermoplastic starch) como insumo principal para este propósito. (Espoch, 2020)

Un estudio reciente logró desarrollar una película bioplástica a partir de la combinación de dos biopolímeros: cáscara de plátano y almidón de maíz, así como cáscara de limón y residuos de maracuyá, experimentando con diferentes concentraciones de cada material. En Ecuador, los principales diez cultivos

comprenden cacao, palma africana, plátano, maíz duro seco, banano, café, limón, maracuyá, maíz suave seco, caña de azúcar, maíz tierno (choclo) y frijol seco, los cuales en conjunto ocupan aproximadamente 1.737.517 hectáreas y alcanzan una producción anual de 21.178.970 toneladas. (Aimplas, 2020)

Una alternativa viable para el aprovechamiento de los residuos agrícolas es su utilización en la producción de bioplásticos, con el objetivo de sustituir a los polímeros no degradables actualmente en uso. Diversos estudios han evidenciado que es posible emplear residuos agroalimentarios, incluidos aquellos con alto contenido de celulosa, como materia prima para desarrollar materiales biodegradables que reemplacen a los polímeros convencionales, cuya tasa de descomposición es considerablemente baja. En el contexto ecuatoriano, donde se generan aproximadamente 6.660.820 toneladas métricas de residuos agrícolas al año, la fabricación de bioplásticos a partir de estos desechos representa una propuesta prometedora y sustentable. (Riera & Palma, 2020)

2.3 Maracuyá

2.3.1 Origen

El maracuyá (*Passiflora edulis*) es una planta trepadora leñosa y perenne perteneciente a la familia Passifloraceae, originaria de las regiones tropicales de América. Este cultivo frutal es altamente valorado tanto para el consumo en fresco como por su uso industrial, destacándose en la elaboración de jugos, jaleas y helados. Su notable aroma y sabor, junto con su alta calidad y rendimiento, le otorgan una significativa importancia económica a nivel mundial. Existen dos variedades principales cultivadas globalmente: el maracuyá amarillo (*Passiflora*

edulis f. flavicarpa) y el maracuyá morado (*Passiflora edulis* f. *edulis*) (Campos et al, 2023)

2.3.2 Clasificación botánica del maracuyá

La familia *Passifloraceae* comprende aproximadamente 12 géneros y cerca de 500 especies, entre las cuales se encuentra *Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener.

La clasificación botánica de esta especie es la siguiente:

Tabla 1.

Clasificación botánica del maracuyá

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Maagnoliopsida
Orden:	Violales
Familia:	Passifloraceae
Género:	Pasiflora
Especie:	Pasiflora edulis

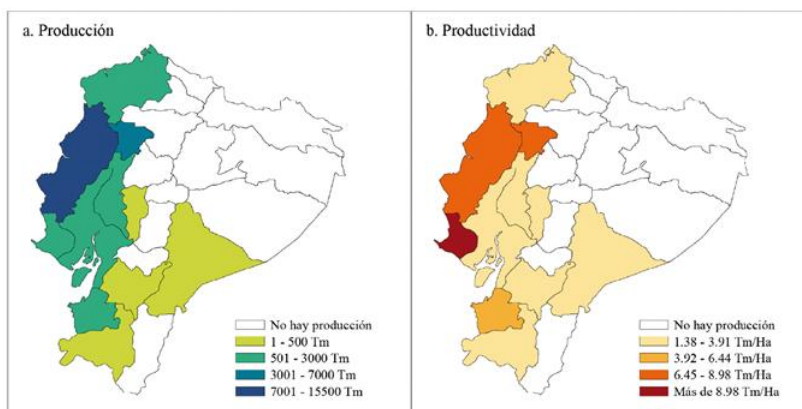
Fuente: (Romero N. , 2023)

2.3.3 Producción de maracuyá en el ecuador

En Ecuador, la producción de maracuyá se concentra principalmente en las regiones subtropicales y, aunque se cultiva durante todo el año, alcanza sus mayores volúmenes en las temporadas comprendidas entre abril y septiembre, así como entre diciembre y enero. Durante estos periodos, los niveles de cosecha superan el promedio anual. La principal área de cultivo de maracuyá en el país se localiza en la región costera, concentrándose especialmente en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y Santo Domingo de los Tsáchilas. (Cañizares & Jaramillo, 2021)

Figura 1.

Zonas productoras de maracuyá en el Ecuador



Nota. En el grafico se observa que la provincia que más maracuyá produjo en el año 2019 fue Manabí (15 029 toneladas métricas, Tm, el 52 % de la producción nacional). Fuente: (Quiñonez & Zea, 2022)

Tabla 2.

Superficie (ha) Sembrada por Provincia en el Ecuador

PROVINCIA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)				
	2009	2010	2011	2012	2013
Santo Domingo	1001	970	559	367	1540
El Oro	260	223	104	44	60
Esmeraldas	3841	3336	1776	652	128
Guayas	2240	2359	1070	195	304
Los Ríos	8212	5525	2277	381	454
Manabí	7106	4007	4270	2234	1189
TOTAL	24669	18430	12067	5885	5688

Fuente: (Cañizares & Jaramillo, 2021)

Tabla 3.

Producción (tm) Por Provincia en el Ecuador

PROVINCIA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)				
	2009	2010	2011	2012	2013
Santo Domingo	3001	5051	4589	1771	2001
El Oro	360	319	238	115	187
Esmeraldas	10938	10315	6689	2440	359
Guayas	7033	12554	5947	711	276
Los Ríos	19937	20522	9974	1938	643
Manabí	19880	19391	20826	3944	3378
TOTAL	63158	70162	50274	12931	8857

Fuente: (Cañizares & Jaramillo, 2021)

2.3.4 Composición física y química del maracuyá

La composición del maracuyá en su estado crudo está constituida aproximadamente por un 73% de agua, un 22% de carbohidratos, un 2% de proteínas y un 0,7% de grasas. Este fruto se distingue por su elevada acidez, con un pH promedio de $3,10 \pm 0,054$ y una acidez titulable de $3,48 \pm 0,069\%$, atribuida principalmente a la presencia de ácido cítrico y ácido málico. La cáscara de maracuyá, por su composición, representa una fuente relevante de minerales, vitaminas y fibra dietética, destacándose especialmente por su contenido de fibras solubles. El análisis proximal de la cáscara revela una composición de 63,40% de fibra dietética total, 23,41% de carbohidratos, 7,50% de cenizas, 4,82% de proteínas y 0,87% de grasas (Rodríguez et al, 2023)

2.3.5 Características de la cáscara de maracuyá

La cáscara de maracuyá constituye una valiosa fuente tanto de fibras solubles como insolubles. Destaca especialmente por su elevado contenido de pectina (14,2%) y un porcentaje considerable de amilosa, componente que corresponde a la celulosa presente en el fruto (Merchán, 2019). Este subproducto, específicamente el mesocarpio del maracuyá proviene del procesamiento industrial para la elaboración de jugos, néctares, mermeladas, entre otros, y representa aproximadamente el 90% del peso de la fruta fresca, el cual es generalmente descartado como residuo. En algunos casos, este desecho se utiliza para la producción de compost. No obstante, diversos estudios han resaltado la cantidad significativa de pectina contenida en el mesocarpio, lo que lo convierte en un recurso con gran potencial para la fabricación de bioplásticos biodegradables. (Escribano, 2020)

2.4 Limón de la variedad Tahití

2.4.1 Origen

El ‘limón pérsico’, conocido también como ‘lima Tahití’, ‘Tahití lime’ o ‘Persian lime’ en inglés, es una variedad de origen incierto, aunque se presume que procede del sudeste asiático, probablemente de la zona comprendida entre Birmania y el sur de China. Esta fruta es considerada un híbrido entre la lima mexicana (*Citrus aurantifolia* Swingle) y la sidra (*Citrus medica* Linn), porque sus flores no poseen polen ni óvulos viables, y sus frutos contienen muy pocas semillas o, en muchos casos, son completamente partenocárpicos (Pincay, 2021)

2.4.2 Clasificación taxonómica del limón

La lima ácida, comúnmente conocida como limón Tahití, esta variedad forma parte de la familia botánica Rutaceae y del género *Citrus*. Esta variedad se distingue por la producción de frutos sin semilla, característica que se debe a su condición de triploide, lo cual impide la formación de polen viable. (DANE, 2020)

Tabla 4.

Clasificación botánica del limón Tahití

Reino:	Plantae
Clase:	Equisetopsida
Subclase:	Magnoliidae
Orden:	Sapindales
Superorden	Rosanae
Familia:	Rutaceae
Género:	<i>Citrus</i>
Especie:	<i>Citrus aurantifolia</i> Tahiti

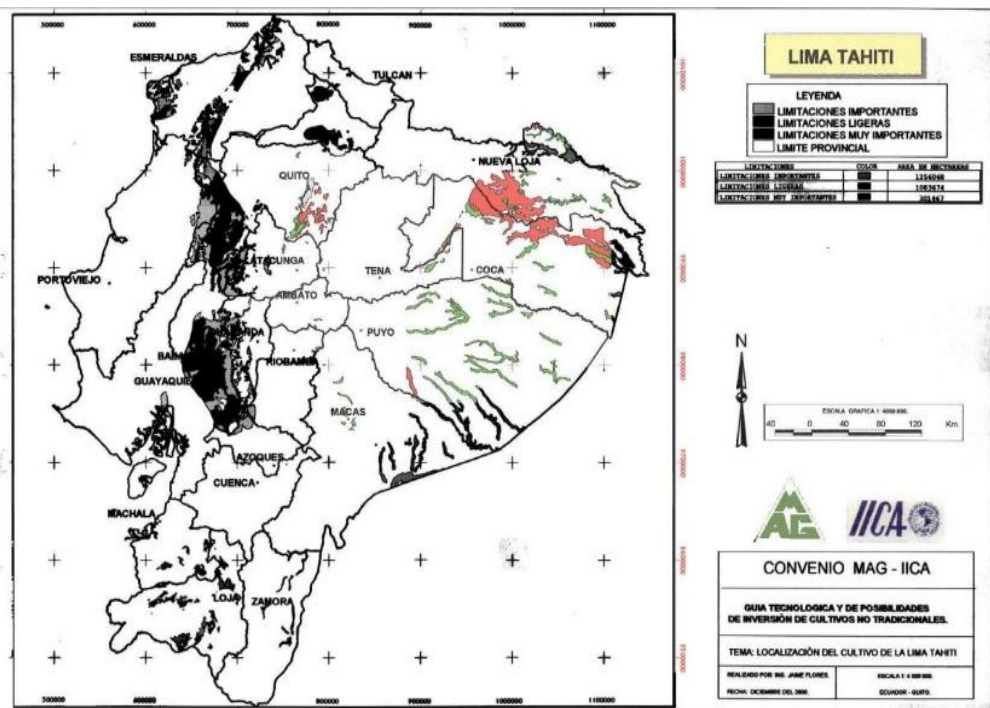
Fuente: (Martínez et al, 2020)

2.4.3 Producción de limón Tahití en el Ecuador

En Ecuador, las principales variedades de limón cultivadas son el 'sutil' y el 'Tahití'. La producción del primero se dirige principalmente al mercado nacional, mientras que la del segundo se orienta casi en su totalidad a la exportación. Esta última solo se introduce en el mercado nacional en situaciones de escasez del limón sutil, y en cantidades limitadas, debido a que su cultivo y consumo en el país son relativamente recientes, con una trayectoria aproximada de 10 y 5 años, respectivamente. (García K. , 2020)

Figura 2.

Zonas productoras de limón Tahití en el Ecuador



Nota. En la figura ilustra que la mayor producción de limón Tahití es en las provincias del Oro, Guayas y Pichincha. Fuente (Bermúdez, 2020)

Tabla 5.*Superficie, producción y rendimiento del limón Tahití*

	Superficie HAS	Producción en TM	Rendimiento
Total, Republica	5180	17216	3,32
Sierra	1805	6274	
Carchi	50	700	14,00
Imbabura	153	319	2,08
Pichincha/Sachilas	800	2960	3,70
Cotopaxi	65	400	6,15
Tungurahua	7	18	2,57
Chimborazo	0	0	0,00
Bolívar	196	611	3,12
Cañar	23	146	6,35
Azuay	44	133	3,02
Loja	467	987	2,11
Costa	3193	10398	
Esmeraldas	215	850	3,95
Manabí	1810	4287	2,37
Guayas/Santa Elena			
	142	345	2,43
Los Ríos	690	2910	4,22
El Oro	336	2006	5,97
Oriente	182	544	
Sucumbíos	38	75	1,97
Napo	100	300	3,00
Orellana	5	5	1,00
Pastaza	30	150	5,00
Morona Santiago	0	0	0,00
Zamora			
Chinchipe	9	14	1,56
Galápagos	0	0	0

Fuente: (García K. , 2020)

2.4.4 Composición física y química del limón

El limón Tahití se caracteriza por presentar un peso promedio que oscila entre 50 y 100 gramos. Su jugo representa entre el 40% y 60% del peso total del fruto, con un índice de acidez comprendido entre el 5% y el 6%. Asimismo, presenta un

contenido de sólidos solubles que oscila entre el 7% y el 8%, y una concentración de ácido ascórbico que se encuentra entre 20 y 40 mg por cada 100 ml de jugo (DANE, 2020). En una porción de 100 gramos del fruto de limón Tahití, se ha identificado un contenido de 5,77. (INEC, 2022)

2.4.5 Características de la cáscara de limón

De acuerdo con una investigación del Instituto Politécnico Nacional (IPN) sobre la extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México, los frutos cítricos contienen tres tipos principales de flavonoides: flavanonas glicosídicas, flavonas polimetoxiladas y flavonoles, siendo las cáscaras una fuente significativa de estos compuestos (Púa et al., 2019). El mesocarpio, la parte blanca del fruto, es rico en pectinas (12%), que aportan firmeza a la corteza. Se ha determinado que, a medida que el fruto madura, el albedo sufre una degradación enzimática, lo que lleva a la cosecha de los cítricos en su estado inmaduro (verde) para maximizar el rendimiento y la calidad de la pectina (Quirumbay, 2021)

2.5 Pectinas

2.5.1 Definición

La pectina es una fibra de origen natural presente en diversas frutas, desempeñando un papel fundamental como agente espesante. Al interactuar con los azúcares y ácidos propios de las frutas, facilita la formación de estructuras gelatinosas. La concentración de esta fibra varía en función del tipo de fruta y su estado de maduración. Comúnmente, los mayores niveles de pectina se encuentran en frutas como los membrillos, las manzanas y los cítricos. (Clemente, 2020)

2.5.2 Estructura

Las pectinas son polisacáridos compuestos por aproximadamente entre 150 y 500 unidades de ácido galacturónico, cuyos grupos carboxilo se encuentran parcialmente esterificados con grupos metoxilo. Además, en su estructura principal se incorporan residuos de azúcares neutros, entre los que destacan la D-galactosa, L-arabinosa y L-ramnosa. (Charchalac, 2021).

2.5.3 Clasificación

Según el contenido de grupos metoxilo, (Ferreira, 2020) determina que las pectinas se dividen en dos tipos:

- **Pectinas de alto metoxilo:** Las pectinas de elevado metoxilo se distinguen por poseer más del 50 % de los grupos carboxilo del ácido galacturónico esterificados con metanol. Este tipo de pectinas son capaces de formar geles en un pH que varía entre 2,8 y 3,5, requiriendo además una concentración de sólidos solubles — principalmente azúcares— entre el 60 % y 70 %, con un valor promedio del 65 %. Estas pectinas se dividen en dos categorías: las de gelificación rápida, que forman geles en menos de 5 minutos y presentan un grado de esterificación entre el 68 % y 75 %, y las de gelificación lenta, que necesitan más de 5 minutos para gelificar y poseen un grado de esterificación entre el 60 % y 68 %. (Liluyacc, 2021)
- **Pectinas de bajo metoxilo:** Las pectinas de bajo metoxilo se distinguen por tener menos del 50 % de sus grupos hidroxilo esterificados con metanol, siendo necesaria principalmente la presencia de cationes divalentes, como el calcio, para favorecer la formación de geles. Este tipo de pectinas puede gelificar en un amplio rango de pH, desde 1,0 hasta 7,0 o incluso valores superiores. En cuanto a la concentración de sólidos solubles, esta puede oscilar entre 0 % y 80 % sin afectar de forma

significativa el proceso de gelificación; no obstante, la presencia de calcio es crucial. La cantidad de calcio requerida está directamente relacionada con la concentración de sólidos solubles; por ejemplo, en un medio con un 30 % de sólidos solubles, se necesitan entre 40 y 100 mg de calcio para alcanzar una gelificación óptima. (Liluyacc, 2021)

2.5.4. Efecto de la temperatura, pH y tiempo en la extracción de pectina

Según lo indicado por Franco (2022), en el ámbito industrial, la técnica más empleada para extraer pectina es la hidrólisis ácida, la cual se lleva a cabo en un medio acuoso acidificado. Este proceso se lleva a cabo a temperaturas comprendidas entre 60 °C y 95 °C, y en un rango de pH de 1.5 a 3.0. La presencia de ácido en el medio, junto con las altas temperaturas, facilita la ruptura rápida y abrupta de las paredes celulares de la corteza del fruto, se facilita la hidrólisis de la protopectina. El tiempo de extracción puede variar desde 30 minutos hasta varias horas; no obstante, si el tiempo es demasiado corto, la cantidad de pectina obtenida será limitada debido a la escasa interacción entre la materia prima y el medio acidulado. Por el contrario, periodos de extracción excesivamente prolongados pueden provocar la degradación del compuesto extraído.

Investigaciones enfocadas en la extracción de pectina a partir de la corteza seca de limones *Citrus genuina* identificaron que las condiciones óptimas para obtener el mayor rendimiento corresponden a un pH de 2,5 y un tiempo de calentamiento de 90 minutos. La pectina extraída en estas condiciones fue clasificada como de bajo contenido en metoxilo. (Quispe, 2020)

2.6 Hidrólisis

2.6.1 Definición

En el ámbito de la Química Orgánica, la hidrólisis se define comúnmente como la ruptura de enlaces químicos mediante la incorporación de uno o ambos iones del agua en los productos resultantes de la reacción. Este fenómeno es característico en la descomposición de compuestos como haluros de alquilo, amidas, ésteres y nitrilos, entre otros. Además, la hidrólisis también comprende las reacciones de los iones H^+ y OH^- del agua con los iones derivados de ácidos y bases débiles, dentro de un sistema en equilibrio. (Flores & Caballero, 2020)

2.6.2 Tipos de hidrólisis

Hidrólisis ácido-base: En este proceso, la molécula de agua se separa en un ion hidroxilo (OH^-) y un protón (H^+); este último se hidrata de forma inmediata, formando un ion hidronio (H_3O^+). Esta reacción se produce de manera espontánea, incluso en agua pura.

Hidrólisis de sal de ácido fuerte-base fuerte: Al disolver en agua una sal procedente de un ácido y una base fuertes, la hidrólisis es prácticamente nula, dado que no se altera el equilibrio de disociación del agua. Como resultado, la solución obtenida mantiene un pH neutro.

Hidrólisis de sal de ácido fuerte-base débil: En este caso, el catión de la sal, originado a partir de un ácido fuerte y una base débil, transfiere un protón al agua, lo que conduce a la formación de un ion hidronio (H_3O^+). Como resultado, la solución adquiere un carácter ácido, reflejado en un pH bajo.

Hidrólisis de amidas y ésteres: La hidrólisis de este tipo de compuestos orgánicos puede llevarse a cabo tanto en medios ácidos como básicos. En particular, los ésteres son susceptibles a la hidrólisis en ambas condiciones, dando lugar a la formación de ácidos carboxílicos y alcoholes. Este proceso, cuando se realiza en medio básico, es conocido como saponificación, siendo la base para la obtención de jabones a partir de la hidrólisis de triglicéridos.

Hidrólisis de polisacáridos: Los polisacáridos pueden ser sometidos a hidrólisis, proceso a través el cual se rompen los enlaces glucosídicos —responsables de la unión entre los monosacáridos que conforman los polisacáridos—, dando lugar a la formación de polisacáridos de menor tamaño, disacáridos o monosacáridos. En esta reacción, un átomo de hidrógeno del agua se enlaza con el átomo de oxígeno ubicado en un extremo de la molécula de azúcar, mientras que el grupo hidroxilo (OH^-) se adiciona al otro extremo de la cadena molecular.

Hidrólisis enzimática. Este tipo de hidrólisis se lleva a cabo en presencia de enzimas denominadas hidrolasas, las cuales son compuestos orgánicos que actúan como biocatalizadores, acelerando la velocidad de las reacciones químicas involucradas en la ruptura de enlaces moleculares. (Parada, 2020)

2.6.3 Hidrólisis Ácida

Este procedimiento se realiza a una temperatura aproximada de 90 °C durante un periodo cercano a una hora. En este método, la extracción de pectinas se efectúa de forma continua, y su separación se logra mediante la acidificación del medio, utilizando comúnmente ácidos como cítrico, nítrico, fosfórico, clorhídrico o sulfúrico. Posteriormente, las pectinas extraídas se concentran, se someten a un

proceso de secado, se granulan y finalmente se tamizan para obtener el producto final. (Franco, 2022)

2.7 Bioplásticos

Se reconoce que el sector agroindustrial en Ecuador produce residuos con un alto potencial de aprovechamiento, cuya utilidad depende de su composición y de las posibilidades de procesamiento para agregarles valor. La mayoría de estos residuos contienen almidón o compuestos lignocelulósicos, los cuales, mediante la aplicación de transformaciones químicas, físicas o biotecnológicas, consiguen ser utilizados como materia prima, material de relleno o precursores en la producción de bioplásticos (Lema et al, 2021).

Los bioplásticos se definen como materiales obtenidos a partir de procesos de descomposición, ya sea en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, mediante la acción de microorganismos que actúan a través de mecanismos enzimáticos en condiciones ambientales normales. A diferencia de los plásticos tradicionales, que se producen principalmente a partir de fuentes fósiles, los bioplásticos provienen en su mayoría de materia orgánica, utilizando biomasa como principal recurso. Además, un alto porcentaje de estos materiales son biocompostables, lo que contribuye a su rápida degradación en entornos controlados o naturales. (Rimarc, 2020)

La organización European Bioplastics define a los bioplásticos como aquellos plásticos que son de origen biológico (bio-basados), biodegradables o que presentan ambas características de forma simultánea. Esta definición ha sido incorporada en el anteproyecto de la norma mexicana PROY-NMX-E-260-CNCP-2013, donde se establece la siguiente clasificación para los bioplásticos:

Bioplástico: plástico cuya composición es íntegramente de origen:

- a) Proveniente de materias primas de origen renovable y biodegradable
- b) Elaborado a partir de materias primas renovables, aunque no necesariamente biodegradable
- c) Derivado de materias primas petroquímicas y con capacidad de biodegradarse

(Morillas, 2022)

Los bioplásticos pueden ser procesados utilizando las mismas tecnologías empleadas para los materiales termoplásticos tradicionales, como los procesos de extrusión, inyección y soplado. En determinados casos, estos materiales presentan propiedades superiores a las de los plásticos convencionales, lo que les confiere ventajas en aplicaciones específicas, tales como una mayor capacidad de barrera contra la humedad y una mejor transparencia. Además, en ciertos escenarios, las características particulares de los bioplásticos permiten el desarrollo de nuevas aplicaciones, como la fabricación de bolsas destinadas a la recolección de residuos orgánicos. (Ochoa & Roncal, 2020)

2.8 Tipos de bioplástico

2.8.1 Bioplásticos derivados de biomasa

- **Naturales:** estos materiales se producen a partir de biomasa de origen natural, entre cuyos componentes se incluyen el almidón, la celulosa, el colágeno y las resinas furánicas..
- **Sintéticos:** estos materiales utilizan monómeros derivados de recursos renovables, que posteriormente son transformados químicamente en polímeros.

A diferencia de los plásticos tradicionales, no requieren de fuentes fósiles, lo que contribuye a la reducción de la huella de carbono.

(AIMPLAS, 2020)

2.8.2 Bioplásticos biodegradables

Dichos materiales poseen la capacidad de degradarse tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, gracias a la acción de microorganismos presentes de forma natural en el ambiente, como bacterias, hongos y algas. En este contexto, el prefijo «bio» hace referencia a su biodegradabilidad y a la posibilidad de recuperar los residuos de manera orgánica. Es importante señalar que el término «biodegradable» no debe considerarse equivalente a «compostable». Los bioplásticos compostables son aquellos que, bajo condiciones controladas de compostaje, pueden degradarse biológicamente generando dióxido de agua, carbono, compuestos inorgánicos y biomasa. (BioPolymers, 2022)

2.8.3 Polímeros biocompatibles

En el campo de las aplicaciones biomédicas, el prefijo «bio» en los polímeros biocompatibles hace referencia a su capacidad para interactuar de manera segura con células y tejidos vivos. Estos materiales, también denominados biocompatibles o bioabsorbibles, no generan efectos adversos en el organismo humano o animal, lo que permite su uso en la fabricación de dispositivos médicos, tales como implantes ortopédicos y prótesis. (AIMPLAS, 2020)

2.9 Parámetros de calidad de un bioplástico de baja densidad

Los bioplásticos se describen como materiales plásticos y de refuerzo conseguidos a partir de fuentes naturales renovables, como el cáñamo, lino, yute, residuos

agrícolas, celulosa, entre otros. Dentro de los parámetros de calidad de un bioplástico de baja densidad están las propiedades físicas y mecánicas como espesor, tensión, humedad, solubilidad, absorción de agua, densidad, flexibilidad y la elasticidad. (Málaga,S.A.M, 2021).

Tabla 6.

Caracterización físico-química de los bioplásticos

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS BIOPLÁSTICOS			
ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	RANGO ESTÁNDAR	NORMA
Espesor (mm)	0,20	0,07 - 0,20	(INEN 2542, 2010, p. 3)
Humedad (%)	37,63	25,95 - 42,71	(Guamán, 2019, p. 41)
Solubilidad (%)	19,38	14,84 - 60,96	
Permeabilidad de vapor ($g \cdot h^{-1} \cdot m^2 \cdot MPa^{-1}$)	0,0370	0,03 - 0,374	(Trujillo, 2014, pp. 7587)

2.10 Tipos de plastificantes

El principal efecto de un plastificante es regular la temperatura de transición vítrea (Tg). No obstante, en los termoplásticos que contienen plastificantes, la transición entre el estado elástico (hule) y el estado rígido del polímero se produce en una clase de niveles térmicos más amplio en correlación con el polímero puro. Por lo general, los plastificantes son moléculas orgánicas de bajo peso molecular, caracterizadas por presentar una temperatura de transición vítrea cercana a los -50 °C. (Bustamanante et al, 2020)

Para que una sustancia sea adecuada como plastificante, debe cumplir con ciertos requisitos, entre los cuales destacan en un reducido punto de transición vítrea (Tg) y una miscibilidad completa o, al menos, parcial con el polímero huésped. La

temperatura de transición vítrea de un polímero plastificado depende tanto de la cantidad de plastificante incorporado como de las temperaturas de transición vítrea propias del polímero y del plastificante. (Arrieta et al, 2020)

2.10.1 Glicerina o glicerol

La glicerina se produce principalmente a partir de aceites y grasas, como subproducto intermedio en las técnicas de producción de jabones y ácidos grasos. Además, puede obtenerse a partir de fuentes naturales mediante procesos de fermentación. (Acofarma, 2020)

El glicerol es el plastificante más usado en la producción de biopolímeros, debido a sus destacadas propiedades humectantes. Este compuesto ofrece una elevada eficiencia como plastificante, adecuada compatibilidad con diversos polímeros y baja volatilidad. Además, su capacidad para establecer interacciones específicas mediante enlaces de hidrógeno contribuye a la formación de estructuras estables en los materiales poliméricos. (Arrieta et al, 2020)

2.10.2 Sorbitol

El sorbitol es considerado un producto de origen natural, comúnmente presente en hojas y bayas. En su representación pura, se muestra como un polvo blanco, cristalino y de sabor dulce. Posee un agudo nivel de higroscopicidad, lo que le admite retener la humedad e incluso inhibir la evaporación del agua. Además, es altamente soluble en agua, permitiendo la preparación de soluciones con concentraciones de hasta un 70 % de sorbitol y un 30 % de agua. Este compuesto es también notable por su alta estabilidad térmica, ya que no carameliza ni pardea a elevadas temperaturas (Crosa, 2021).

2.10.3 Gelatina sin sabor o grenetina

La grenetina es una materia sin color ni olor que, por lo general, se comercializa en forma de polvo debido a la facilidad de su uso, aunque también puede encontrarse en láminas. Este compuesto se obtiene principalmente a partir de huesos y cartílagos de animales, así como de restos de especies de algas. Aunque no posee un sabor característico, su función principal es proporcionar consistencia y una textura cremosa o gelatinosa, mejorando tanto la apariencia como la estabilidad de los productos en los que se incorpora. Su aplicación es especialmente común en la industria de la repostería (Castillo, 2021).

2.11 Biopolímero

Se trata de materiales elaborados a partir de son recursos renovables y degradables que satisfacen los criterios definidos por normas científicamente reconocidas en cuanto a biodegradabilidad y compostabilidad de plásticos y sus derivados. Es importante mencionar que, aunque la mayoría de los plásticos de origen renovable poseen estas propiedades, no siempre son necesariamente biodegradables o aptos para compostaje. En cambio, los materiales clasificados como biodegradables o compostables no requieren obligatoriamente provenir de materias primas renovables, ya que su capacidad de degradación guarda mayor relación con la composición química del polímero que con el origen de los recursos utilizados en su fabricación. (Valero et al, 2019)

De acuerdo con sus propiedades mecánicas, los polímeros se pueden clasificar en dos grandes categorías: hules y termoplásticos. Los hules, como el hule natural, el poliacetato de vinilo y los hules estireno-butadieno, se caracterizan por ser materiales suaves y elásticos, comúnmente empleados en la fabricación de

neumáticos, chupetes, recubrimientos, entre otros productos. Por otro lado, los termoplásticos, como el poliestireno (PS), el cloruro de polivinilo (CPV) y el polimetacrilato de metilo, son materiales rígidos que, al ser sometidos a temperaturas elevadas, alcanzan un punto en el que adquieren propiedades similares a las de los hules, volviéndose maleables. (Bustamanante et al, 2020)

2.12 Biodegradabilidad de un polímero

La biodegradabilidad hace referencia a la capacidad de los microorganismos para atacar y descomponer determinados materiales, proceso en el cual se genera la fragmentación del polímero en unidades más pequeñas mediante la ruptura de los enlaces de su cadena principal. La biodegradación de plásticos, en particular, es un proceso complejo debido a su alto peso molecular y a la baja solubilidad en agua de estos compuestos, lo que dificulta el transporte de las moléculas poliméricas al interior de las células microbianas, donde ocurren la mayoría de las reacciones bioquímicas. Como estrategia alternativa, los microorganismos segregan enzimas extracelulares que actúan directamente sobre los polímeros en el medio externo, promoviendo su depolimerización. Los productos finales de este proceso metabólico comprenden agua, dióxido de carbono, metano (en condiciones anaeróbicas) y residuos de materia orgánica. (Valero et al, 2020)

2.13 Tiempo de biodegradabilidad del bioplástico

La biodegradabilidad es la capacidad de descomposición en un periodo de tiempo determinado. También se trata de un proceso donde los materiales cambian su estructura a niveles físicos y químicos hasta que queden los elementos que lo componen. (Envaselia, 2022) La degradación es un proceso diseñado para cambiar

la estructura de un polímero para que se vuelva quebradizo, perecedero y desaparezca como residuo. Algunos procesos de degradación se basan en los efectos de la luz (fotodegradación), el calor (degradación térmica) y los microorganismos (biodegradación). (García & Sánchez, 2021)

2.14 Humedad

Este proceso consiste en registrar la diferenciación de la masa de una muestra conforme se expone a un proceso de secado, el cual implica un incremento gradual de la temperatura y requiere cierto tiempo. Además, se refiere a la concentración de vapor de agua existente en el aire, la cual puede expresarse en términos absolutos o relativos. (Net InterLab s.a, 2022)

2.15 pH

El pH es un parámetro utilizado para identificar el grado de acidez o alcalinidad de una solución, y también se interpreta como la concentración de iones hidrógeno presentes en el agua. Esta magnitud se expresa mediante una escala logarítmica que abarca valores de 0 a 14, donde un aumento de una unidad implica una disminución de diez veces en la concentración de iones hidrógeno, lo que refleja el carácter exponencial de la escala. (Eburres, 2020)

2.16 Absorción de agua

La absorción de agua, también conocida como hidrofobicidad, hace referencia a la capacidad de un material para absorber agua, lo cual está relacionado directamente con su interacción con líquidos. La prueba de hidrofobicidad consiste en evaluar la cantidad de agua que un material puede absorber y determinar el tiempo necesario para que la muestra se humedezca por completo con el líquido de prueba. Este

tiempo corresponde al período requerido para que el líquido penetre en la estructura interna del material bajo condiciones previamente establecidas. (Eurolab, 2020)

La cantidad de líquido absorbido por unidad de masa del material absorbente se expresa como un porcentaje respecto a la masa del absorbente bajo condiciones específicas y transcurrido un tiempo determinado. La medición de la humedad se lleva a cabo mediante análisis gravimétrico, lo que permite determinar la cantidad de agua absorbida por las biopelículas en función del tiempo. (Arrieta & Durango, 2020).

2.17 Tensión

El ensayo de tracción es una prueba destinada para analizar el comportamiento de un material cuando se somete a esfuerzos de tracción. Su propósito principal es establecer la resistencia a la rotura, así como las propiedades mecánicas esenciales del material. En el campo de la impermeabilización, la evaluación de estas propiedades es fundamental para verificar la capacidad de los productos de soportar las cargas estructurales de las superficies donde son aplicados (Tecnopol, 2024).

La resistencia máxima que un material puede soportar antes de su ruptura, evaluada mediante el método de elongación, se denomina tensión. Este parámetro se describe como la proporción entre la fuerza ejercida y el área de la sección transversal inicial de la muestra, y se expresa en unidades como megapascuales (MPa), newtons por metro cuadrado (N/m^2) o kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2). Alternativamente, la tensión también puede describirse como la relación entre la fuerza máxima aplicada y la longitud inicial del cuerpo, constituyendo un parámetro complementario para caracterizar la resistencia mecánica de los materiales. (Muñoz, 2022)

2.18 Elasticidad

La prueba de elasticidad es un método eficaz para determinar la resistencia de un material frente a la deformación elástica. Bajo la aplicación de una fuerza o esfuerzo, los materiales pueden experimentar deformaciones, y este ensayo permite evaluar dicha respuesta. Durante la prueba, se aplica una fuerza controlada sobre el material y se registran los resultados obtenidos. A partir de estos datos, es posible calcular la elasticidad, la cual se determina como el cociente entre la tensión aplicada y la deformación elástica resultante (Industrial Physics, 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación de la investigación

Esta propuesta investigativa se llevará a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar, localizado en el sector Laguacoto II, provincia de Bolívar, cantón Guaranda, parroquia San Simón-Veintimilla

Tabla 7.

Localización de la investigación

Ubicación	Localidad
Provincia:	Bolívar
Cantón:	Guaranda
Sector:	Laguacoto II
Parroquia:	Veintimilla
Dirección:	Laguacoto 1km ½ vía Guaranda-San Simón
Establecimiento:	Universidad Estatal de Bolívar

La zona geográfica donde se desarrollará esta propuesta se encuentra a una altitud de 2.640 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas de latitud 01°38'35" S y longitud 79°02'01" W. Las temperaturas en la región varían entre una máxima de 22,5 °C y una mínima de 7 °C, presentando un clima que oscila desde parámetros fríos, con temperaturas entre 4 °C y 7 °C, hasta un clima subtropical cálido, con rangos de 18 °C a 24 °C. La temperatura promedio anual es de 14,5 °C. Según la clasificación de zonas de vida de L. Holdridge, esta área corresponde a la formación de bosque montano bajo.

3.2. Metodología.

3.2.1 Material en estudio.

- Cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora Edulis Var. Flavicarpa*)

- Cáscara de limón tahití (*Citrus Aurantifolia Tahití*)
- Glicerol
- Sorbitol
- Grenetina

Materiales de Laboratorio

- Varilla de vidrio
- Probetas (100 ml, 50 ml)
- Vaso de precipitación (2000 ml, 250 ml)
- Embudo de vidrio
- Magnetos
- Termómetro
- Espátulas
- Liencillo
- Pera de succión

Reactivos

- Agua destilada tipo II H₂O
- Ácido cítrico
- Ácido clorhídrico
- Ácido acético
- Etanol al 96%

Equipos

- Balanza gramera
- Balanza analítica

- Plancha de agitación magnética
- Molino PRO-ME-DI
- Molino manual
- Estufa
- Extractora de gases
- Secador
- Potenciómetro
- Máquina universal de ensayos SHIMADZU EZ-S

3.2.2 Factores en estudio.

Para el porcentaje de rendimiento y tiempo de gelificación de la pectina obtenida a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*) y cáscara limón tahití (*Citrus aurantifolia tahití*), se planteó un diseño con dos factores de estudio: factor A: Tipo de materia prima: Cáscara de maracuyá y limón tahití, Factor B: Tipos de ácido con sus dos niveles, ácido clorhídrico y ácido cítrico y el factor C: pH con sus tres niveles; 2, 2.5 y 3.

Tabla 8.

Diseño para la extracción de la pectina

Factores	Código	Niveles
Tipo materia prima	A	a ₁ : Cáscara de maracuyá a ₂ : Cáscara de limón Tahití
Tipo de ácido	B	b ₁ : Ácido clorhídrico b ₂ : Ácido cítrico
pH	C	c ₁ : 2 c ₂ : 2.5 c ₃ : 3

Para la producción de bioplástico a partir de la pectina extraída de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa*) y de la cáscara de limón tahití (*Citrus*

aurantifolia var. tahiti), se determinaron dos factores de estudio. El Factor A corresponde a la variedad de pectina utilizada, con dos niveles: pectina extraída de maracuyá amarillo y de limón. El Factor B está relacionado con el tipo de plastificante, considerando tres alternativas: grenetina, glicerol y sorbitol.

Tabla 9.

Diseño para la elaboración del plástico biodegradable

Factores	Código	Niveles
Pectinas	A	a1: 45% Pectina de maracuyá amarilla a2: 50% Pectina de limón Tahití
Combinación de plastificante	B	b1: 20 % grenetina + 25 % Ac. acético b2: 22,5 % glicerol + 25 % Ac. acético b3: 25 % sorbitol + 25 % ácido cítrico

3.2.3 Tratamientos.

Tabla 10.

Tratamientos para la obtención de la pectina

Tratamiento	Código	Descripción nivel		
		Tipos de materia prima	Tipo de ácido	pH
T1	a1b1c1	Cáscara de maracuyá	Ácido clorhídrico	2
T2	a1b1c2	Cáscara de maracuyá	Ácido clorhídrico	2,5
T3	a1b1c3	Cáscara de maracuyá	Ácido clorhídrico	3
T4	a1b2c1	Cáscara de maracuyá	Ácido cítrico	2
T5	a1b2c2	Cáscara de maracuyá	Ácido cítrico	2,5
T6	a1b2c3	Cáscara de maracuyá	Ácido cítrico	3
T7	a2b1c1	Cáscara de limón Tahití	Ácido clorhídrico	2
T8	a2b1c2	Cáscara de limón Tahití	Ácido clorhídrico	2,5
T9	a2b1c3	Cáscara de limón Tahití	Ácido clorhídrico	3
T10	a2b2c1	Cáscara de limón Tahití	Ácido cítrico	2
T11	a2b2c2	Cáscara de limón Tahití	Ácido cítrico	2,5
T12	a2b2c3	Cáscara de limón Tahití	Ácido cítrico	3

Tabla 11.

Tratamientos para la elaboración del plástico biodegradable

Tratamiento	Código	Descripción nivel	
		A	B
T1	a1b1	45% Pectina de maracuyá amarilla	20 % grenetina + 25 % Ac. acético
T2	a1b2	45% Pectina de maracuyá amarilla	22,5 % glicerol + 25 % Ac. acético
T3	a1b3	45% Pectina de maracuyá amarilla	25 % sorbitol + 25 % ácido cítrico
T4	a2b1	50% Pectina de limón tahití	20 % grenetina + 25 % Ac. acético
T5	a2b2	50% Pectina de limón tahití	22,5 % glicerol + 25 % Ac. acético
T6	a2b3	50% Pectina de limón tahití	25 % sorbitol + 25 % ácido cítrico

3.2.4 Tipo de diseño experimental o estadístico.

Se aplicará un diseño experimental completamente aleatorizado A*B (2*3) con tres repeticiones.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable sujeta de medición

μ = Media general

α_i = Efecto debido al i-esimo nivel del factor A

β_j = Efecto del j-esimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción en la combinación ij

ε_{ijk} = Error aleatorio

3.2.5 Características del experimento.

Se presenta el modelo de análisis de varianza.

Tabla 12.

Anova

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a - 1	CM _A	CM _A /CM _E	P (F > F _{0^A})
Efecto B	SC _B	b - 1	CM _B	CM _B /CM _E	P (F > F _{0^B})
Efecto AB	SC _{AB}	(a-1) (b - 1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P (F > F _{0^{AB}})
Error	SC _E	ab (n - 1)	CM _E		
Total	SC _T	abn - 1			

3.2.6 Pruebas de rangos múltiples.

Se empleó la prueba LSD para validar si existían diferencias significativas entre los tratamientos analizados

Método LSD

$$LSD_A = t_{(\alpha-2), ab(n-1)} \sqrt{CM_E \left(\frac{1}{n_{A_i}} + \frac{1}{n_{A_l}} \right)}$$

Donde:

LSD: Diferencia mínima significativa

t: Tabla de Fisher

el error: Grados de libertad del error

CME: Cuadrado medio del error

n_i: Número de réplicas del primer nivel

n_j: Número de réplicas del segundo nivel

3.3 Manejo de la investigación

3.3.1 Caracterización de la materia prima análisis proximal y elemental

3.3.1.1 Humedad

Se utilizó el método ISO 18134-3:2015 para establecer el contenido de humedad.

Se pesó 1 gramo de cáscara seca y previamente triturada (de limón y maracuyá) en

cápsulas de porcelana. Posteriormente, utilizando una pinza, las muestras se introdujeron en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Finalizado este tiempo, las cápsulas se trasladaron a un desecador durante 7 a 10 minutos para permitir su enfriamiento, facilitando así la toma de peso de las muestras.

Para establecer el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1.

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100$$

Donde:

m_1 : Masa en g del plato vacío y la tapa.

m_2 : Masa en g del plato, tapa y porción de ensayo antes del secado

m_3 : Masa en g del plato, la tapa y la porción del ensayo después del secado

El resultado se debe calcular con dos cifras decimales y el valor medio de ambas determinaciones se debe redondear al 0,1%.

3.3.1.2 Ceniza

Se realizó la determinación del contenido de humedad conforme al método ISO 18122:2015. Para ello, se pesó 1 gramo de cáscara seca y previamente triturada (limón - maracuyá) en las cápsulas de porcelana. Se procede a incinerar las muestras gradualmente en la mufla a 250 ° C por 2 horas ya incinerada las muestras se incrementa la temperatura de la mufla 550 °C por 2.5 horas o hasta que la ceniza de las muestras sea de color blanco. Finalmente se procedió a pesar las muestras para

así comparar con las muestras iniciales dando como resultado el porcentaje de ceniza de las materias primas.

Para calcular el porcentaje de ceniza, se usó la siguiente ecuación:

Ecuación 2.

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

Donde:

m_1 : Masa en g del plato vacío

m_2 : Masa en g del plato más la porción de ensayo

m_3 : Masa en g del plato más la ceniza

M_{ad} : Es el contenido de humedad en porcentaje de la porción del ensayo usada para la determinación.

El resultado se debe calcular con dos cifras decimales y el valor medio a registrar se debe redondear con una aproximación del 0,1%.

3.3.1.3 pH

La determinación del pH se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida en la norma técnica ecuatoriana INEN 526, correspondiente a harinas de origen vegetal. Se pesó 1 gramo de harina de cáscara de maracuyá y de limón Tahití, respectivamente. A cada muestra se le adicionaron 20 ml de agua destilada en un vaso de precipitación, mezclándose por separado hasta conseguir una solución homogénea. Posteriormente, se efectuó una lectura directa del pH utilizando un potenciómetro con electrodo de vidrio, cuidando que el electrodo no entrara en

contacto con las paredes del recipiente. Este procedimiento se repitió dos veces con el fin de asegurar una menor variabilidad en los resultados.

3.3.1.4 Contenido de materia Volátil

La determinación de compuestos volátiles se realizó aplicando la norma ISO 18123:2015. Se pesó 1 gramo de cáscara seca y previamente triturada (de limón y maracuyá) en cápsulas de porcelana. Posteriormente, los crisoles se introdujeron en una mufla a 900 °C durante 7 minutos. Finalizado este tiempo, se retiraron los crisoles y se colocaron sobre una superficie resistente al calor, permitiendo su enfriamiento durante aproximadamente 5 a 10 minutos. Una vez atemperados, los crisoles se trasladaron a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, momento en el cual se procedió a pesar nuevamente los crisoles con la muestra.

Ecuación 3.

$$V_d = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} \right] * \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right)$$

Donde:

m_1 : Masa en g del plato vacío y su tapa

m_2 : Masa en g del plato, su tapa y la porción de ensayo antes del calentamiento

m_3 : Masa en g del plato, su tapa y el residuo después del calentamiento

M_{ad} : Es la humedad, como porcentaje en masa de la porción del ensayo determinada según la norma ISO 18134-3

El resultado debe de expresarse con dos cifras decimales y el valor medio a registrar se debe redondearse con una precisión de 0,1%

3.3.3 Descripción del proceso de extracción de pectina.

Este proceso este compuesto por los siguientes pasos:

- a. Recepción de materia prima
- b. Lavado
- c. Desprendimiento de la corteza
- d. Escaldado
- e. Lavado de la cáscara tratada
- f. Pesado
- g. Rallado
- h. Deshidratado
- i. Triturado
- j. Hidrólisis ácida
- k. Filtrado
- l. Precipitación
- m. Filtración y lavado
- n. Secado
- o. Trituración
- p. Envasado y Almacenado

A continuación, se mencionan las etapas del proceso:

- a. Recepción de materia prima y Lavado:** Se realizaron las etapas de recepción, lavado y pesado de las cáscaras de limón (*Citrus aurantifolia* Tahití)

y maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*), con el objetivo de garantizar que la materia prima se encontrara en condiciones óptimas y libre de impurezas, asegurando de este modo su calidad para los procesos posteriores.

- b. Desprendimiento de la corteza:** El proceso de descortezamiento se llevó a cabo utilizando un cuchillo, asegurando la separación adecuada de las distintas partes del fruto, como las secciones verdes, blancas, el albedo y las membranas.
- c. Escaldado:** Las cáscaras de limón y maracuyá se sometieron a un escaldado en agua destilada durante 10 minutos, empleando una proporción de 5 gramos de cáscara por cada 10 mililitros de agua, con el fin de inactivar las enzimas que degradan la macromolécula de pectina. Posteriormente, se realizó el filtrado del contenido y las cáscaras tratadas fueron lavadas
- d. Lavado de la cáscara tratada:** La cáscara fue sumergida en agua destilada y sometida a un proceso de lavado.
- e. Pesado:** Se llevó a cabo el pesado por separado de las cáscaras de limón y maracuyá para trabajar con cantidades precisas, destinadas a la elaboración del producto, con el propósito de establecer la cantidad requerida para alcanzar un porcentaje adecuado.
- f. Cortado:** La cáscara de maracuyá se cortó en pedazos pequeños, lo que facilitó obtener un mejor resultado durante el proceso de deshidratación.
- g. Deshidratado:** En este proceso la cáscara de maracuyá cortada se colocó en un deshidratador a 50°C durante 24 horas.
- h. Triturado:** Se llevó a cabo una segunda trituración en un triturador manual y seguidamente en un molino Retsch CYCLONE MILL para obtener partículas

más finas, considerando a partir de este punto el material triturado como materia prima.

- i. Hidrólisis ácida:** Se colocaron 50 gramos de materia seca de maracuyá y 100 gramos de materia fresca de limón en vasos de precipitación de 2000 ml, cada uno con agua. Posteriormente, se ajustó el pH a 3, 2.5 y 2, utilizando ácido cítrico y ácido clorhídrico. La mezcla se calentó a 80 °C durante 60 minutos, manteniendo una agitación constante. Se trabajó bajo las siguientes condiciones:

Tabla 13.

Condiciones del proceso de hidrólisis ácida

Condiciones	Ácido	Cítrico			Clorhídrico		
	pH	2	2,5	3	2	2,5	3
	Temperatura (°C)	80	80	80	80	80	80

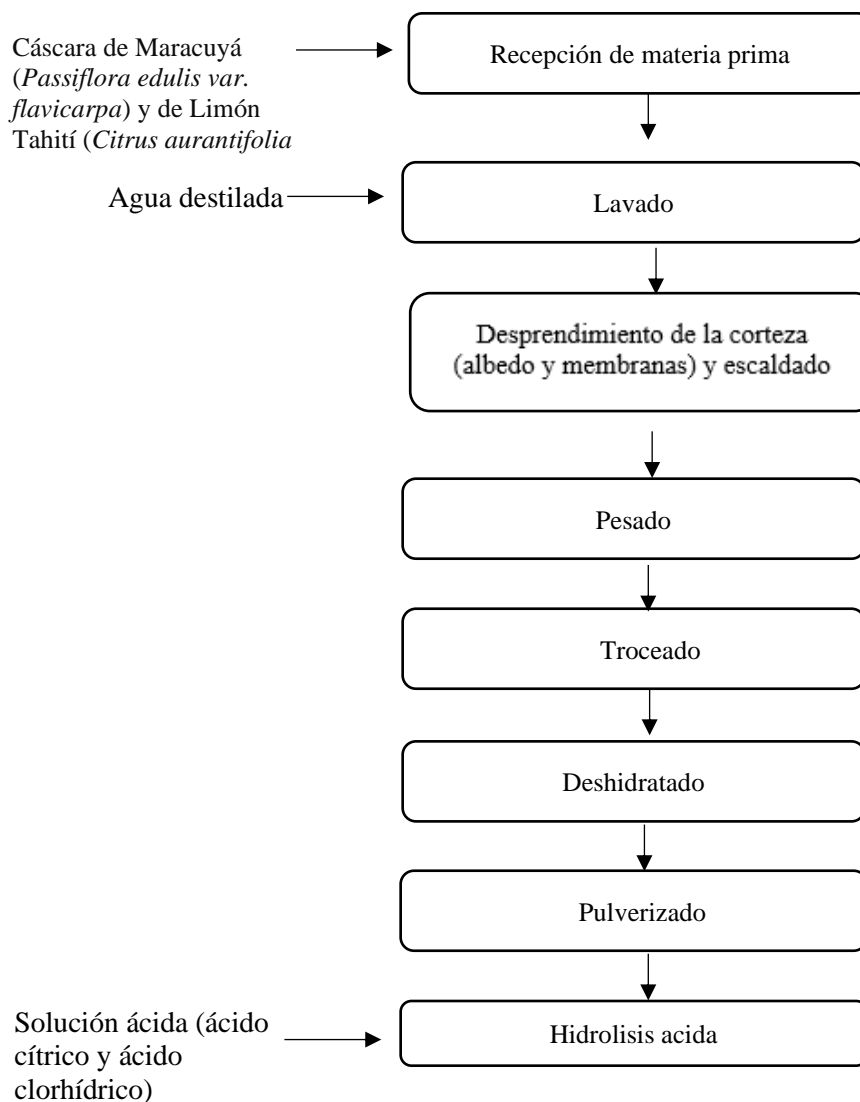
- j. Filtración:** La mezcla hidrolizada, aún caliente, fue filtrada utilizando un liencillo, y el filtrado se enfrió de forma rápida hasta llegar a una temperatura aproximada de 15 °C.
- k. Precipitación:** Se añadió etanol al 96° GL, previamente enfriado a 4 °C, en una proporción del 40%. La mezcla se agitó enérgicamente durante un minuto y luego se dejó reposar durante 24 horas. El precipitado obtenido correspondió a la pectina extraída mediante la hidrólisis ácida.
- l. Filtración y lavado:** Tras la precipitación de la pectina, se efectuó una segunda filtración de la sustancia gelatinosa empleando un liencillo.
- m. Secado:** La torta de pectina retenida en el liencillo se extendió sobre papel aluminio y se secó en una estufa con circulación de aire a 60 °C durante 18

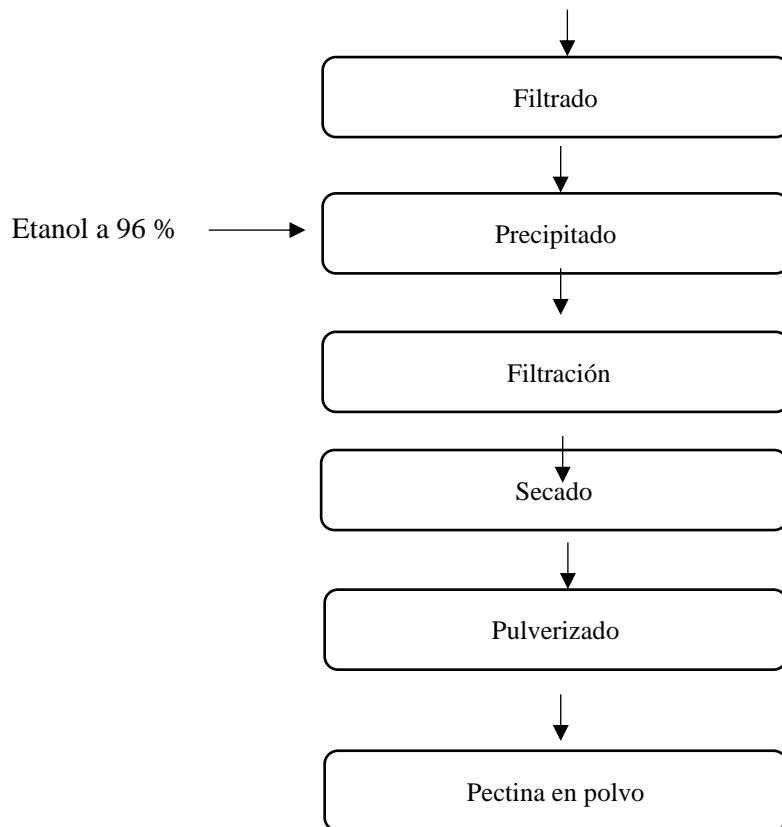
horas, o hasta que alcanzara un peso constante y una textura firme y quebradiza, adecuada para su posterior trituración.

n. Trituración: La pectina seca se retiró con cuidado de la bandeja de aluminio y se trituró manualmente en un mortero hasta obtener partículas lo más finas posible.

o. Envasado y Almacenado: La pectina obtenida se envasó en bolsas plásticas y se almacenó a temperatura ambiente.

3.3.4 Diagrama de flujo de la extracción de la pectina





3.3.5 Porcentaje de rendimiento de pectina

Para obtener el porcentaje de rendimiento de la pectina a partir de la cáscara de limón tahití y maracuyá realizamos la siguiente ecuación y verificamos cual es la que tiene mayor porcentaje.

Ecuación 4.

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Cantidad de pectina extraida}}{\text{gr de muestra utilizada}} * 100$$

3.3.6 Descripción del proceso de obtención del bioplástico

Para la obtención del bioplástico se realizan las siguientes etapas:

- a. Recepción de materia prima

- b. Disolución de la pectina
- c. Mezclado
- d. Moldeado
- e. Secado
- f. Desmoldeado
- g. Almacenado

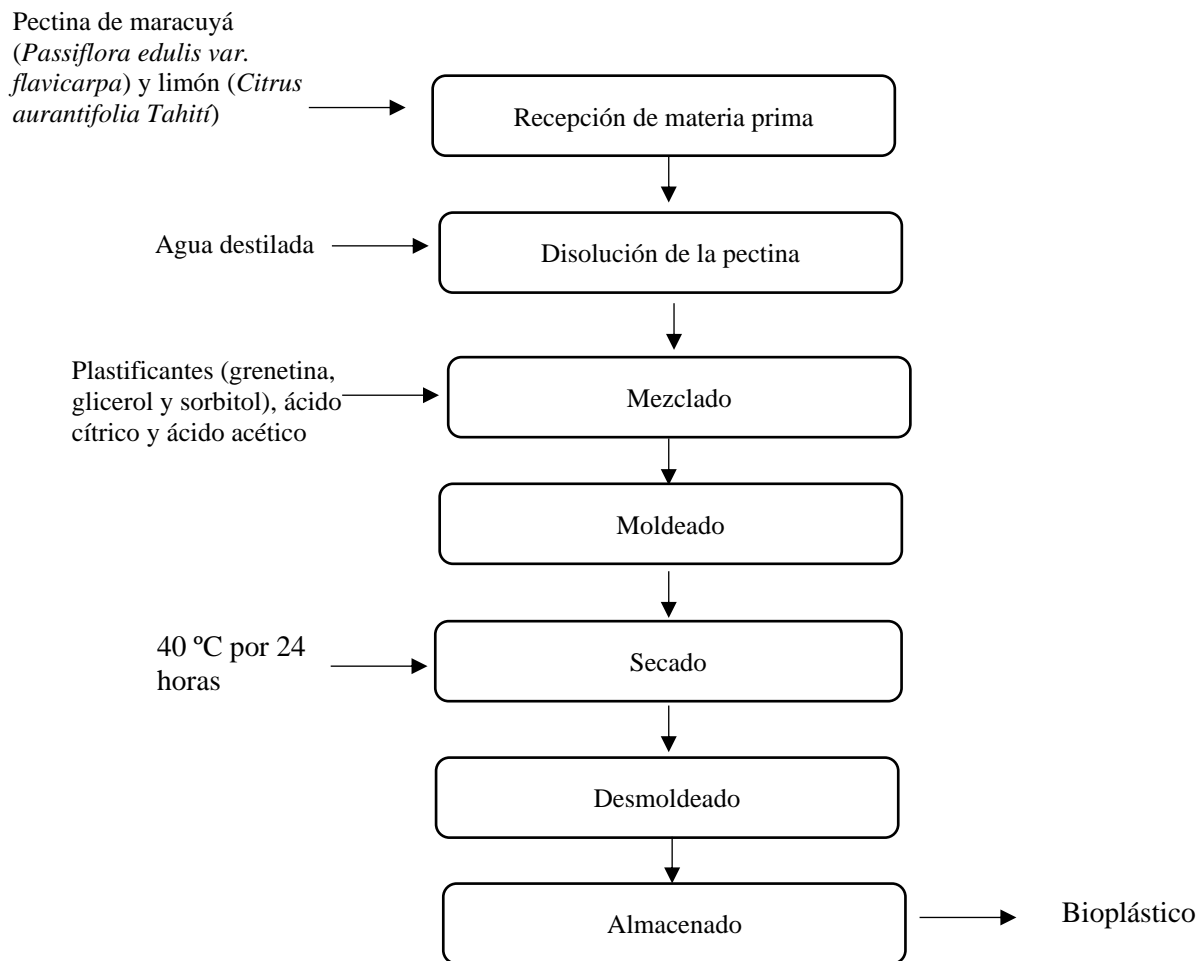
A continuación, se mencionan las etapas del proceso:

- a. Recepción de materia prima:** Se receipta la pectina de maracuyá y de limón.
- b. Disolución de la pectina:** Se disuelve la pectina obtenida en agua caliente (aproximadamente 2 g de pectina por 23 ml de agua destilada). Para mejorar la solubilidad se utiliza agua a una temperatura de 60-80°C.
- c. Mezclado:** Se agrega los plastificantes (glicerol, sorbitol o grenetina) en un 25% del peso de la pectina utilizada a la solución para mejorar la flexibilidad del bioplástico final, además también se mezcla con el ácido cítrico o ácido acético respectivamente y se agita bien la mezcla para asegurar que los plastificantes se disuelva completamente en la solución de pectina.
- d. Moldeado:** Se vierte la solución de pectina y plastificantes (glicerol, sorbitol o grenetina) en moldes o bandejas de silicona para formar una película fina.
- e. Secado:** La solución se introduce en la estufa a 40°C durante 24 horas para eliminar la cantidad de agua y hasta que se forme una película flexible y resistente.

f. **Desmoldeado:** Se retiro la lámina del molde obteniendo como resultado el material denominado bioplástico.

g. **Almacenado:** Posteriormente se almaceno a una temperatura ambiente, evitando el contacto con el agua.

3.3.7 Diagrama de flujo para del proceso de obtención del bioplástico



3.3.8 Análisis y caracterización del bioplástico.

El análisis de caracterización realizado al bioplástico de baja densidad es un proceso en el que estudia y describen las propiedades, atributos o características del mismo.

Tabla 14.*Análisis y pruebas realizadas al bioplástico*

Variable	Método	Indicador	Técnica
Humedad	Se realizaron pruebas por triplicado. Para cada tratamiento, se recortaron muestras de 3 × 3 cm, las cuales fueron pesadas y colocadas en una estufa con recirculación de aire a 105 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, las muestras se retiraron, se enfriaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y, finalmente, se procedió a realizar el pesaje.	%	ISO 18134-3:2015
pH	Se determinó en base al peso de 1 g de muestra de bioplástico, utilizando el potenciómetro, que debe estar previamente calibrado. (Universidad de Murcia, 2022).	Acidez	INEN 526
Tensión	La prueba de tensión es un ensayo utilizado para determinar las propiedades de un material cuando es sometido a fuerzas de tracción. (Tecnopol, 2024)	(MPa)	ASTM D638

Absorción de agua	<p>Para determinar la absorción del agua se realizó mediante el método de prueba estándar para la absorción de plásticos, en la que consiste en colocar una película de 2 cm x 2 cm con un peso inicial, en una placa Petri con agua y estar llevando un control de peso de 10 min por un total de tiempo de 30 min, hasta tener un peso final y por diferencia de pesos se determinó su capacidad de absorción.</p>	%	ASTM D570-98
Elasticidad	<p>Se define como la capacidad de un cuerpo deformado para recuperar su forma y tamaño original una vez que se elimina la fuerza que provocó la deformación. (Nadaf, 2022)</p>	(MPa)	ASTM D638
Tiempo de biodegradabilidad	<p>La degradación es un proceso diseñado para cambiar la estructura de un polímero para que se vuelva quebradizo, perecedero y desaparezca como residuo. (García & Sánchez, 2021)</p>	Días	INTE ISO 14855-1 2019

3.3.8.1 Humedad

La humedad de cada muestra de bioplástico se determina conforme a la ISO 18134-3:2015

- Se cortaron las láminas del bioplástico en dimensiones de 3cm x 3cm de cada tratamiento.
- Se colocó en la estufa a temperatura de 105 °C durante 24 horas hasta llegar a un peso constante.
- Sacar las muestras y enfriar en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente, y pesar.

Para obtener el porcentaje de humedad en cada muestra se utilizó la ecuación 1.

3.3.8.2 pH

Para determinar el pH del bioplástico se determinó conforme a la norma ASTM D5338-15

- Se cortaron las láminas del bioplástico fragmento pequeños hasta obtener 1gramo de cada tratamiento y se colocó en un vaso de precipitación con 10ml de agua destilada en el caso del bioplástico que contiene grenetina se colocó 20 ml de agua destilada para una mejor disolución.
- Se agitó la mezcla con ayuda de un agitador magnético o manualmente hasta que se diluya el bioplástico.
- Se midió el pH de la solución con ayuda del potenciómetro (HACH HQ, 40D) previamente calibrado.

3.3.8.3 Tensión

Para este método de ensayo se rigió bajo la norma ASTM D638 para plásticos de baja densidad.

- Se cortaron las láminas del bioplástico en dimensiones de 8cm x 4cm de cada tratamiento.

- Se midió el espesor de cada muestra de bioplástico utilizando un pie de rey digital (TRUPER DIGITAL CALIPER (0 150 mm)). La medida del espesor es crucial, ya que influye en los cálculos de tensión.
- Se colocó la muestra de bioplástico entre las mordazas o garras del dinamómetro escala de resorte 20N/20kg, asegurando que esté bien sujeta y alineada.
- Se aseguró que la máquina esté calibrada correctamente antes de empezar. Esto incluye la configuración de los sensores de fuerza.

Para el cálculo de la tensión se aplica la siguiente ecuación

Ecuación 5

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ : Es la tensión (en N/mm² o MPa).

F : Es la fuerza aplicada (en Newtons).

A : Es el área de la sección transversal de la muestra (en mm²). Se calcula como el ancho multiplicado por el espesor de la muestra.

3.3.8.4 Absorción de agua

Para establecer la absorción del agua se realizó mediante el método de prueba estándar para la absorción de plásticos ASTM D570-98, en la que consiste en colocar un bioplástico de 2 cm x 2 cm con un peso inicial, en una placa Petri con agua y estar llevando un control de peso de 10 min por un total de tiempo de 30

min, hasta tener un peso final y por diferencia de pesos se estableció su capacidad de absorción.

La absorción de agua se calculó a partir de la diferencia de peso, expresándose como la masa de agua absorbida por unidad de masa de la muestra original. Los resultados reportados corresponden al promedio de tres determinaciones realizadas por cada formulación.

Ecuación 6

$$\% \text{ adsorción de agua} = \frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{\text{peso inicial}} * 100$$

3.3.8.5 Elasticidad

El ensayo se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM D638 para plásticos de baja densidad, utilizando la máquina universal de ensayos SHIMADZU EZ-S, ubicada en el laboratorio de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Se cortaron probetas de cada uno de los tratamientos

- Se colocó cada uno de los extremos de la probeta en las mordazas de la máquina (SHIMADZU EZ-S).
- Se encendió la máquina hasta que la probeta se rompa.

Ecuación 7

$$\text{Elasticidad} = \frac{\text{Fuerza necesaria para romper la muestra (N)}}{\text{Área de la sección transversal (mm)}}$$

3.3.8.6 Tiempo de biodegradabilidad

- Se cortaron las muestras de bioplástico de dimensiones de 2 x 2 cm, las cuales se evaluaron en tierra, agua y aire.

- Para cada uno de los ensayos se consideró un periodo de tiempo de 30 días, tomando pesos y fotografías cada 5 días.

Ecuación 7

$$\% \text{ Biodegradabilidad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Donde:

Peso inicial : Corresponde al peso de la muestra del bioplástico en el día 1

Peso final : corresponde al peso calculado en cada intervalo de tiempo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

4.1.1 Análisis estructural y elemental

La Tabla 15 muestra los resultados obtenidos del análisis elemental y estructural realizado a las cáscaras de limón Tahití y maracuyá.

Tabla 15.

Análisis estructural y elemental de las materias primas

Material experimental				Normativas
Análisis	Cáscara de limón Tahití	Cáscara de maracuyá	Unidad	
Nitrógeno	1,28	1,57	%	UNE-EN-ISO 16948
Carbono	40,43	39,73	%	UNE-EN-ISO 16948
Hidrogeno	5,7	4,76	%	UNE-EN-ISO 16948
Azufre	0,11	0,13	%	UNE-EN-ISO 16948
C/N ratio	31,61	25,32		UNE-EN-ISO 16948
C/H ratio	7,98	8,34		UNE-EN-ISO 16948
Fibra detergente neutra (ANKOM)	21,73	36,35	%	Van Soest (Sistema ANKOM)
Fibra detergente ácida (ANKOM)	15,82	28,74	%	(Sistema ANKOM)
Hemicelulosa	5,91	7,61	%	CALCULADO
Celulosa	15,08	21,43	%	CALCULADO
Lignina	0,73	7,31	%	(Sistema ANKOM)

Nota. Estos análisis se realizaron en los laboratorios de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar

En la Tabla 15 se presentan los parámetros analizados junto con sus respectivos métodos. Se observó que la cáscara de limón Tahití mostró mayores porcentajes de

carbono e hidrógeno, mientras que la cáscara de maracuyá amarilla registró valores más altos de nitrógeno y azufre, lo cual se atribuye a las diferencias varietales entre ambas cáscaras. Estos resultados se hallan dentro de los rangos permitidos por las normativas vigentes.

Tabla 16.

Rangos permitidos de la composición química de la cascara de limón y maracuyá

Materia	Nitrógeno	Carbono	Hidrogeno	Azufre	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
Cáscara de limón	0.5% - 2%	45% - 50%	5% - 6%	0.1% - 0.5%	10% - 15%	20% - 30%	5% - 10%
Cáscara de maracuyá	1% - 3%	40% - 50%	5% - 6%	0.1% - 0.5%	10% - 20%	20% - 30%	5% - 15%

Nota. Rangos permitidos de acuerdo a las normativas establecidas.

4.1.2 Análisis proximal

En la tabla 17 se muestra resultados conseguidos tras llevar a cabo el análisis proximal (Humedad, cenizas y material volátil) de la cáscara de limón tahití y cáscara de maracuyá.

Tabla 17.

Análisis proximal de las materias primas

Material experimental				
Análisis	Cáscara de limón Tahití	Cáscara de maracuyá	Unidad	Normativa
pH	3.33	4.5	pH	ASTM D5338-15
Humedad	11.17	12.70	%	UNE-EN-ISO 18134-3
Cenizas	5.38	6.89	%	UNE-EN-ISO 18122
Volátiles	78.62	82.24	%	UNE-EN-ISO 18123

Nota. Estos análisis se realizaron en los laboratorios de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar

En la Tabla 17 se presentan los parámetros analizados junto con sus respectivos métodos. Se observó que la cáscara de limón Tahití registró un menor porcentaje de cenizas y compuestos volátiles, mientras que la cáscara de maracuyá amarilla presentó valores más elevados en estos componentes.

Púa (2020) realizó un análisis del contenido de cenizas en la cáscara de limón Tahití, tanto en estado verde como maduro, obteniendo para la etapa de maduración verde un valor de 5,4%, resultado que es similar al encontrado en la presente investigación. Por su parte, Peñaloza (2022) reportó un contenido de cenizas de 2,07% en la cáscara de maracuyá amarilla, valor que difiere del obtenido en este estudio, posiblemente debido a las condiciones de cultivo del maracuyá.

4.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO.

A continuación, se detalla el porcentaje de rendimiento de la pectina extraída de la cáscara del limón tahití y la cáscara de maracuyá de acuerdo a las condiciones de extracción.

Tabla 18.

Cálculo rendimiento de pectina

Tratamientos	Replicas	Peso inicial materia prima (gr)	Peso de pectina (gr)	Promedio rendimiento pectina (%)	Desviación
T1	R1	50	7,43	13,75	1,01
	R2	50	6,75		
	R3	50	6,44		
T2	R1	50	6,54	12,36	1,01
	R2	50	5,6		
	R3	50	6,4		
T3	R1	50	4,01	8,53	3,65
	R2	50	2,58		
	R3	50	6,2		
T4	R1	50	8,99	22,99	4,70
	R2	50	11,84		

	R3	50	13,65		
	R1	50	6,02		
T5	R2	50	10,64	18,18	5,32
	R3	50	10,61		
	R1	50	5,68		
T6	R2	50	7,62	16,33	5,60
	R3	50	3,36		
	R1	200	0,54		
T7	R2	200	0,18	0,47	0,35
	R3	200	1,53		
	R1	200	0,37		
T8	R2	200	0,045	0,44	0,58
	R3	200	2,2		
	R1	200	1,04		
T9	R2	200	1,06	0,46	0,11
	R3	200	0,68		
	R1	200	3,8		
T10	R2	200	2,03	1,48	0,44
	R3	200	3,04		
	R1	200	2,38		
T11	R2	200	0,49	0,69	0,47
	R3	200	1,23		
	R1	200	0,62		
T12	R2	200	0,2	0,47	0,47
	R3	200	1,97		

La Tabla 18 muestra la cantidad de pectina obtenida, expresada en gramos, en relación con el peso de la materia prima utilizada, correspondiente al polvo de cáscara de maracuyá seca y a los trozos frescos de cáscara de limón Tahití, permitiendo así calcular el porcentaje de rendimiento. Para el proceso de hidrólisis, se emplearon 50 gramos de polvo de cáscara de maracuyá junto con 1500 ml de agua acidulada (utilizando ácido clorhídrico y ácido cítrico según el tratamiento), estableciendo una relación de 1:30, es decir, 30 mililitros de agua acidulada por cada gramo de muestra. En el caso de la cáscara de limón Tahití, se utilizaron 200 gramos de cáscara fresca con 1000 ml de agua acidulada, lo que corresponde a una relación de 1:5, es decir, 5 mililitros de agua acidulada por cada gramo de muestra.

Tabla 19.*Porcentaje de rendimiento de pectina conforme a las condiciones de extracción*

Tratamiento	Condiciones del proceso de hidrólisis ácida				Pectina		
	Muestra (gr)	pH	Temperatura (°C)	Tipo de ácido	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Promedio rendimiento pectina (%)
T1	50	2	80	clorhídrico	50	8	13,75
T2	50	2,5	80	clorhídrico	50	8	12,36
T3	50	3	80	clorhídrico	50	8	8,53
T4	50	2	80	cítrico	50	8	22,99
T5	50	2,5	80	cítrico	50	8	18,18
T6	50	3	80	cítrico	50	8	16,36
T7	200	2	80	clorhídrico	50	8	0,34
T8	200	2,5	80	clorhídrico	50	8	0,44
T9	200	3	80	clorhídrico	50	8	0,46
T10	200	2	80	cítrico	50	8	1,48
T11	200	2,5	80	cítrico	50	8	0,68
T12	200	3	80	cítrico	50	8	0,47

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 19 presenta los porcentajes de rendimiento de pectina obtenidos bajo diferentes condiciones y tratamientos. Se destaca que los tratamientos T4 y T10 alcanzaron rendimientos promedio de 22,99% y 1,48%, respectivamente, siendo significativamente superiores en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados corresponden a la extracción de pectina mediante hidrólisis ácida, utilizando cáscara de maracuyá y cáscara de limón Tahití, a un pH de 2 ajustado con ácido cítrico y a una temperatura de 80 °C.

Rea (2021), en su investigación titulada “Determinación del poder gelificante de la pectina extraída de la cáscara y pulpa del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)”, señala que el porcentaje de rendimiento de pectina extraída de la cáscara de maracuyá utilizando ácido cítrico fue del 14,09%, resultado influenciado por los parámetros de extracción aplicados. En comparación, los resultados de la presente

investigación muestran diferencias en los porcentajes de extracción de pectina de maracuyá, evidenciando que bajo condiciones controladas de pH, los rendimientos obtenidos son superiores. Por otro lado, Púa y Barreto reportaron que el porcentaje de rendimiento de pectina extraída de la cáscara de limón Tahití en estado verde fue de 1,26%, bajo condiciones óptimas de pH 2, un tiempo de 75 minutos y una temperatura de 90 °C, resultados que presentan similitudes con las condiciones de extracción empleadas en este estudio.

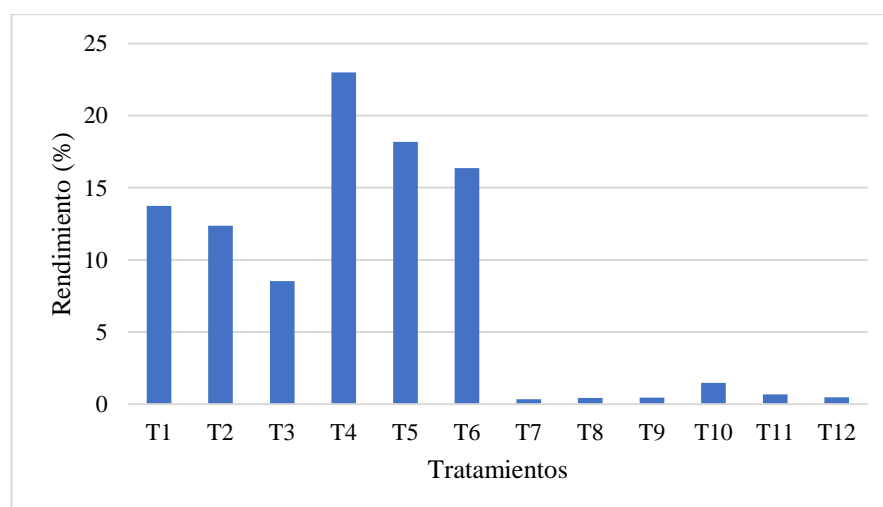
Tabla 20.

Condiciones óptimas de extracción de la pectina

Condiciones óptimas de extracción		
Condición	Pectina extraída de la cáscara del limón tahití	Pectina extraída de la cáscara de maracuyá
pH	2	2
Tiempo (min)	60	60
Temperatura (°C)	80	80
Tipo de ácido	ácido cítrico	ácido cítrico
Rendimiento (%)	1,48%	22,99%

Figura 3.

Análisis del rendimiento de la pectina de maracuyá y limón tahití



Las condiciones óptimas se resumen en la Tabla 20, donde se evidencia que el mayor porcentaje de rendimiento se obtuvo a partir de la cáscara de maracuyá, alcanzando un 22,99% (Tratamiento T4), mientras que para la cáscara de limón Tahití, el porcentaje de recuperación de pectina fue de 1,48% (Tratamiento T10). Estos valores contrastan con los altos rendimientos reportados en otras especies de cítricos, como la mandarina, naranja y toronja, cuyos rendimientos oscilan entre el 25% y 30%, según lo indicado por Púa y Barreto (2021a) en su investigación titulada “Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón Tahití en dos estados de maduración”.

En la Figura 3 se aprecia que el tratamiento con mayor rendimiento corresponde al T4 (cáscara de maracuyá, ácido cítrico y pH 2), mientras que el tratamiento con el rendimiento más bajo es el T3 (cáscara de maracuyá, ácido clorhídrico y pH 2). Por su parte, el tratamiento T10 (cáscara de limón Tahití, ácido cítrico y pH 2) muestra un valor de rendimiento elevado en comparación con los seis tratamientos evaluados para la cáscara de limón.

4.2.1 Análisis de la varianza (ANOVA) para el rendimiento de la obtención de la pectina

Tabla 21.

Análisis de Varianza para % de pectina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo de materia prima	1942,16	1	1942,16	266,85	0,0000
B: Tipo de ácido	145,685	1	145,685	20,02	0,0001
C: pH	62,2426	1	62,2426	8,55	0,0068
INTERACCIONES					
AB	116,568	1	116,568	16,02	0,0004
AC	44,2545	1	44,2545	6,08	0,0201
BC	2,25094	1	2,25094	0,31	0,5825
RESIDUOS	203,788	28	7,27815		
TOTAL (CORREGIDO)	2517,12	35			

La Tabla 21 presenta el análisis de varianza (ANOVA), en el que se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, correspondiente al porcentaje de pectina, en función de los factores tipo de materia prima, tipo de ácido y pH, con sus respectivos niveles. Dado que los valores de probabilidad (p-valor) para los factores A, B, C y las interacciones AB y AC son inferiores a 0,05, se concluye que estos factores tienen un efecto significativo sobre el porcentaje de obtención de pectina, con un nivel de confianza del 95%.

Se usó el método LSD para realizar la prueba de rangos múltiples y determinar las diferencias significativas entre las medias.

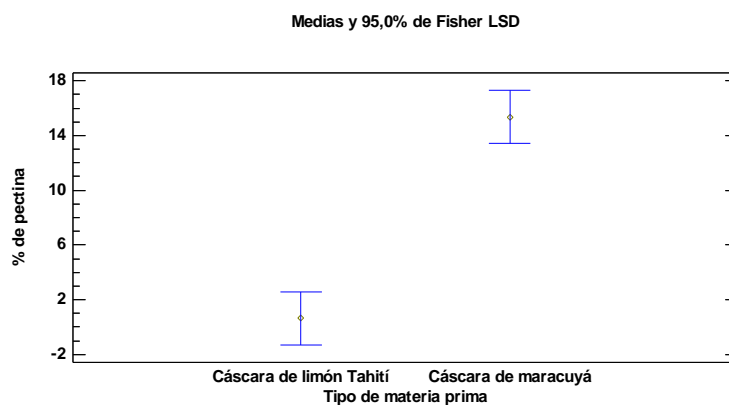
Tabla 22.

Pruebas de rangos múltiples para el % de pectina obtenido

Tipo de materia prima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Cáscara de limón Tahití	18	0,665	0,810838	A
Cáscara de maracuyá	18	15,3556	0,810838	B

Figura 4.

Medias del factor A del porcentaje de pectina



La Tabla 22 muestra que los grupos homogéneos son diferentes, destacándose que la media más alta en el porcentaje de pectina corresponde al nivel a1, con un valor de 15,36%. Esta diferencia también se refleja en la Figura 4, donde se observa que el nivel a1 no se superpone con el nivel a2. En consecuencia, se concluye que la pectina extraída de la cáscara de maracuyá presenta un mayor porcentaje de rendimiento. Este resultado concuerda con los hallazgos reportados por (Cuesta & Muñoz, 2020) quienes determinaron un rendimiento de pectina del 14,2% en la cáscara de maracuyá.

4.3 Elaboración del bioplástico

4.3.1 Formulación de bioplástico a partir de pectina de maracuyá y limón tahití

Para las 6 formulaciones empleadas, se utilizó 23 ml de agua destilada, 1ml de plastificante (glicerol, sorbitol y grenetina) y 1 ml de ácido (acético y cítrico 5 molar), mientras que las concentraciones de las variables pectina de maracuyá y limón fue de 1.5 gramos.

Tabla 23.

Formulación para determinar la concentración de variables

Tratamientos	Pectina	Plastificante	Agua destilada	Ácido	Forma plástica
T1	1.5 g	Grenetina 1g	23 ml	Ac. acético 1 ml	Si
T2	1.5 g	Glicerol 1 ml	23 ml	Ac. acético 1 ml	Si
T3	1.5 g	Sorbitol 1 ml	23 ml	Ac. cítrico 1 ml	Si
T4	2 g	Grenetina 1g	23 ml	Ac. acético 1 ml	Si
T5	2 g	Glicerol 1 ml	23 ml	Ac. acético 1 ml	Si
T6	2 g	Sorbitol 1 ml	23 ml	Ac. cítrico 1 ml	Si

En la tabla 23 se puede observar las concentraciones empleadas para cada formulación, así como la capacidad para formar bioplásticos; por otro lado, en la

tabla 24 se aprecia las formulaciones adecuadas para emplearse en la elaboración de bioplásticos y a partir de los cuales se trabajó posteriormente.

Tabla 24.

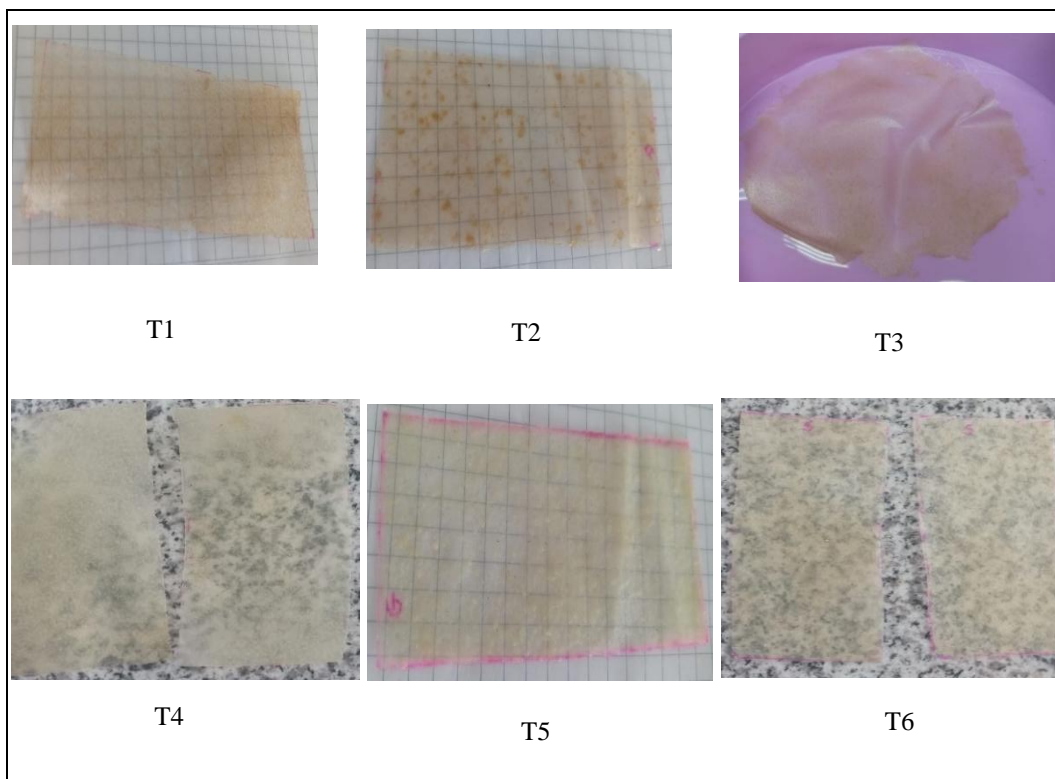
Ensayos preliminares para determinar la formación de las bioplásticos

Tratamientos	Replicas	Transparencia	Forma de bioplástico	Fácil de desmoldar	Estabilidad
T1	R1	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
	R2	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
	R3	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
T2	R1	Opaco	Si	Si	Fino, estable
	R2	Opaco	Si	Si	Fino, estable
	R3	Opaco	Si	Si	Fino, estable
T3	R1	Opaco	Si	Si	Muy estable
	R2	Opaco	Si	Si	Muy estable
	R3	Opaco	Si	Si	Muy estable
T4	R1	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
	R2	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
	R3	Opaco	Si	No	Frágil, quebradizo
T5	R1	Opaco	Si	Si	Fino, estable
	R2	Opaco	Si	Si	Fino, estable
	R3	Opaco	Si	Si	Fino, estable
T6	R1	Opaco	Si	Si	Muy estable
	R2	Opaco	Si	Si	Muy estable
	R3	Opaco	Si	Si	Muy estable

Tras la realización de los ensayos preliminares para la obtención de la formulación de bioplásticos, se determinó que los tratamientos T2, T3, T5 y T6 presentaron los mejores resultados, ya que se obtuvieron bioplásticos estables, resistentes y de fácil desmoldeo. En contraste, los tratamientos T1 y T4 generaron bioplásticos quebradizos, difíciles de desmoldar y con fuerte adherencia a los moldes de silicona. Cabe señalar que todas las formulaciones elaboradas con pectina de maracuyá presentaron un color marrón y una apariencia opaca.

Figura 5.

Ensayos de formulación de del bioplástico



4.4 Determinación del mejor tratamiento en función de sus variables respuesta

Tabla 25.

Resultados en función de sus variables respuesta

Tratamiento	Variables de respuesta							
	Humedad (%)	pH	Tensión (MPa)	Absorción de agua (%)	Elasticidad	Tiempo de biodegradabilidad		
						Suelo	Agua	Ambiente
T1	10.07	3.29	23,30	47,24	1,34	86,16	74,18	96,33
T2	25.67	2.98	4,44	92,06	20,38	88,29	75,02	97,26
T3	18.82	2.69	3,58	65,94	18,73	86,21	72,83	94,07
T4	8.84	3.75	28,01	59,80	0,45	85,40	73,87	95,78
T5	26.02	3.25	13,18	70,48	24,34	87,14	72,15	92,17
T6	13.38	2.77	6,41	73,49	23,30	82,92	74,37	92,32

4.4.1 Humedad

En la tabla 26 se muestran los resultados obtenidos, tras realizar el ensayo por triplicado para la determinación de humedad en cada una de las formulaciones empleadas durante la elaboración del bioplástico.

Tabla 26.

Porcentaje de humedad de los bioplásticos

Tratamiento	Humedad (%)	Promedio
T1	10,28	10,07
	9,86	
T2	26,96	25,67
	24,38	
T3	19,34	18,82
	18,29	
T4	9,53	8,84
	8,16	
T5	26,30	26,02
	25,75	
T6	14,04	13,38
	12,73	

Para el T5 la formulación (2g de pectina de limón tahití + 1ml de glicerol + 1ml de ácido acético) se obtiene un porcentaje de humedad promedio alto de 26,05%, mientras que para el caso de la formulación del T4 (2g de pectina de limón tahití + 1g de grenetina + 1ml de ácido acético) el porcentaje de humedad disminuye al 8,84%, siendo el más bajo de todos los tratamientos.

Los porcentajes de humedad obtenidos en el estudio son casi similares en comparación a los obtenidos por (Jiménez, 2023^a) que tras la utilización de 2g de

pectina + 1g de almidón el porcentaje de humedad fue de 25,32%, además el autor indica que la humedad aceptada para la elaboración de biopelículas y recubrimientos oscilan entre 16,64 – 26,51%, es decir que las formulaciones T2, T3 y T5 se encuentra dentro de estos límites que permiten garantizar una adecuada barrera contra el oxígeno atmosférico.

Tabla 27.

Análisis de Varianza para Porcentaje de humedad del bioplástico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A: Pectinas	10,6408	1	10,6408	6,73	0,0410
B: Combinación de plastificantes	95,151	1	95,151	60,18	0,0002
INTERACCIONES					
AB	6,17761	1	6,17761	3,91	0,0955
bloques	2,98003	1	2,98003	1,88	0,2189
Error total	9,48657	6	1,5811		
TOTAL	571,729	11			
(CORREGIDO)					

La Tabla 27 presenta el análisis de varianza (ANOVA), en el que se descompone la variabilidad de la variable de respuesta correspondiente al contenido de humedad, considerando los factores pectina y tipo de plastificante, junto con sus respectivos niveles. Los valores de probabilidad (p-valor) asociados a los factores A y B son inferiores a 0,05, lo que indica que ambos factores ejercen un efecto significativo sobre la humedad del bioplástico, con un nivel de confianza del 95%.

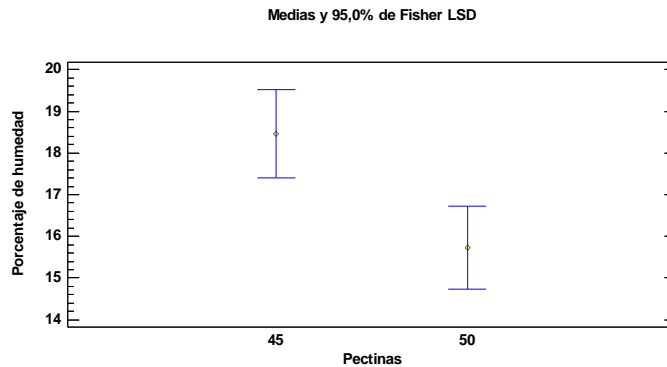
Tabla 28.

Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la humedad

<i>Pectinas</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
45% Pectina de maracuyá	8	15,7257	0,640921	A
50% Pectina de limón	7	18,4576	0,684752	B

Figura 6.

Medias del factor A de la humedad del bioplástico



En la figura de medias y en la tabla de pruebas de rangos múltiples para el factor A, se observa que el nivel a2 presenta un contenido de humedad del 18,45%. Esto indica que la proporción de pectina, en este caso al 50%, influye directamente en el contenido de humedad del bioplástico de baja densidad.

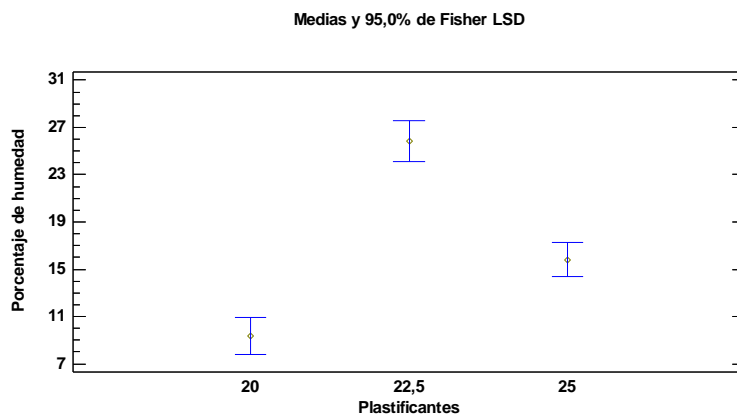
Tabla 29.

Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la humedad

Plastificantes (%)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20 % grenetina	5	9,336	A
25 % glicerol	6	15,8183	B
22,5 % sorbitol	4	25,8475	C

Figura 7.

Medias del factor B de la humedad del bioplástico



En la tabla de pruebas de rangos múltiples y en la figura de medias correspondientes al factor B, se destaca que el nivel b2 registra una humedad del 25,84 %. Este fenómeno se atribuye al porcentaje de plastificante empleado en la producción del bioplástico.

4.4.2 pH

En la tabla 30 se muestran los resultados obtenidos, tras realizar el ensayo por triplicado para la determinación del pH en cada una de las formulaciones empleadas durante la elaboración del bioplástico.

Tabla 30.

pH de los bioplásticos

Tratamiento	pH	Promedio	Desviación estándar
T1	3,22	3,29	0,06
	3,33		
	3,31		
T2	2,93	2,98	0,04
	3,01		
	2,99		
T3	2,66	2,69	0,03
	2,69		
	2,71		
T4	3,71	3,75	0,03
	3,76		
	3,77		
T5	3,20	3,25	0,05
	3,29		
	3,27		
T6	2,72	2,77	0,05
	2,80		
	2,80		

En la Tabla 30 se observa que el tratamiento T4 presentó el valor de pH más alto, con un registro de 3,75 y una desviación estándar de 0,03. De acuerdo con la

normativa ISO 17556:2012, el pH óptimo de un bioplástico para favorecer su biodegradabilidad se encuentra en el rango de 3,0 a 7,0, por lo que este tratamiento cumple con los parámetros establecidos.

Tabla 31.

Análisis de Varianza para el pH del bioplástico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Pectinas	0,338939	1	0,338939	1644,85	0,0000
B: Plastificantes	1,85653	1	1,85653	9009,65	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,104533	1	0,104533	507,29	0,0000
bloques	0,0201444	2	0,0100722	48,88	0,0000
Error total	0,00226667	11	0,000206061		
TOTAL (CORREGIDO)	2,32269	17			

La Tabla 31 presenta el análisis de varianza (ANOVA), en el que se descompone la variabilidad de la variable de respuesta correspondiente al pH, considerando como factores las pectinas extraídas de maracuyá y limón Tahití, los tipos de plastificantes y sus respectivos niveles. Los valores de probabilidad (p-valor) para los factores A, B y la interacción AB son inferiores a 0,05, lo que indica que estos factores tienen un efecto significativo sobre el pH del biopolímero, con un nivel de confianza del 95%.

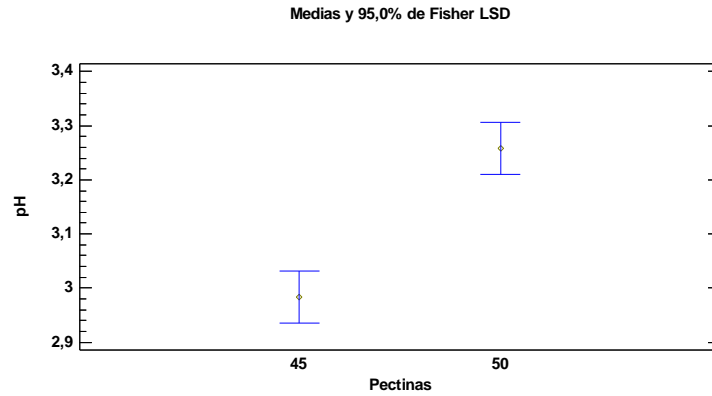
Tabla 32.

Pruebas de rangos múltiples para el factor A de pH

<i>Pectinas</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>
45% Pectina de maracuyá	9	2,98333	0,0317411
50% Pectina de limón	9	3,25778	0,0317411

Figura 8.

Medias del factor A de pH del bioplástico



En la tabla de pruebas de rangos múltiples y en la figura de medias correspondientes al factor A, se destaca que el nivel a1 registra un pH de 2,98. Este resultado se atribuye al tipo de pectina utilizada en la producción del bioplástico, lo que evidencia la influencia de esta variable en la acidez del material.

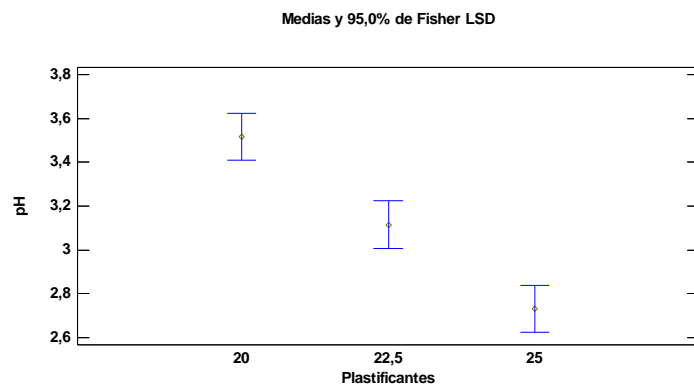
Tabla 33.

Pruebas de rangos múltiples para el factor B de pH

Plastificantes (%)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	6	2,73	0,0719478	A
22,5	6	3,115	0,0719478	B
20	6	3,51667	0,0719478	C

Figura 9.

Medias del factor B de pH del bioplástico



En la tabla de pruebas de rangos múltiples y en la figura de medias correspondientes al factor B, se destaca que el nivel b3 registra un pH de 2,73. Este fenómeno se atribuye al tipo de plastificante empleado en la producción del bioplástico.

4.4.3 Tensión

Tabla 34.

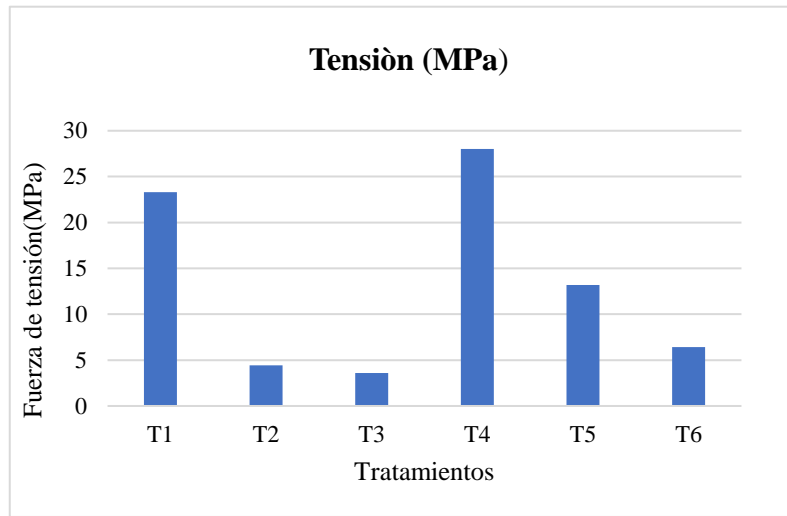
Tensión de los bioplásticos

Tratamiento	Tensión (N)	Promedio tensión (MPa)
T1	15,12	23,30
	31,48	
T2	2,68	4,44
	6,2	
T3	3,4	3,58
	3,77	
T4	41,25	28,01
	14,78	
T5	5,65	13,18
	20,71	
T6	5,37	6,41
	7,45	

La Tabla 34 presenta los resultados de la determinación de la fuerza de tensión para los seis tratamientos evaluados, destacándose que el tratamiento T4 alcanzó un valor de 28,01 N. Estos resultados son comparables con los reportados por (González, 2020), quien obtuvo valores entre 24,51 y 32,34 N/m² para biopelículas elaboradas a base de K-Carragenato.

Figura 10.

Resultados de la tensión de los bioplásticos



La Figura 10 muestra que los bioplásticos presentan valores de tensión que oscilan entre 6,41 y 28,01 MPa, con variaciones específicas en cada tratamiento. Por su parte, la Tabla 34 presenta los resultados de la determinación de la fuerza de tensión para los seis tratamientos evaluados, destacándose que el tratamiento T4 alcanzó un valor de 28,01 N. Este resultado es comparable con los reportados por González (2020), quien obtuvo valores entre 24,51 y 32,34 N/m² para biopelículas elaboradas a base de K-Carragenato.

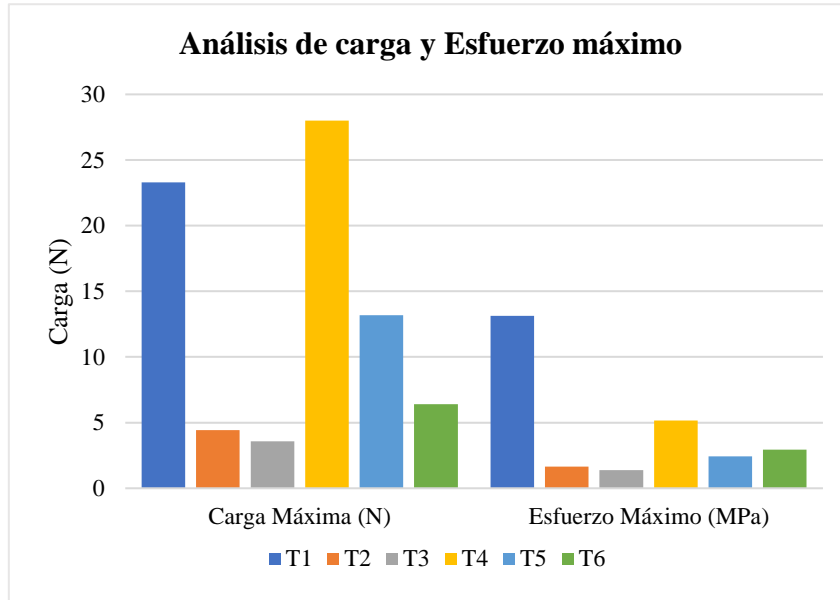
Tabla 35.

Análisis de carga y esfuerzo máximo

Tratamiento	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)
T1	23,3	13,13
T2	4,44	1,64
T3	3,58	1,39
T4	28,01	5,16
T5	13,18	2,44
T6	6,41	2,93

Figura 11.

Análisis de carga y esfuerzo máximo



La Figura 11 presenta los resultados de carga máxima y esfuerzo máximo, los cuales se encuentran en rangos de 4,44 a 28,01 N y de 1,39 a 13,13 MPa (N/mm²), respectivamente. Se observa que los tratamientos T1 y T2 presentan valores similares en cuanto a la carga máxima, mientras que los valores de esfuerzo máximo difieren considerablemente entre los seis tratamientos evaluados. Los resultados de carga máxima obtenidos son comparables con los reportados por (Còrdova, 2021) quien registró un rango de 4,10 a 6,90 N en bioplásticos elaborados a partir de residuos de cacao y aceite esencial de limón para aplicaciones alimentarias. Asimismo, se destaca que el esfuerzo máximo alcanzado en este estudio es superior a los valores informados por Díaz (2021), cuyos resultados se ubicaron entre 3,37 y 4,09 MPa en biopelículas producidas a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate, también destinadas a aplicaciones alimentarias.

Tabla 36.

Análisis de varianza de la fuerza de tensión de bioplástico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Pectinas	88,3461	1	88,3461	0,87	0,3881
B: Plastificantes	853,671	1	853,671	8,36	0,0276
INTERACCIONES					
AB	1,78605	1	1,78605	0,02	0,8991
bloques	9,9372	1	9,9372	0,10	0,7656
Error total	612,514	6	102,086		
TOTAL (CORREGIDO)	1679,53	11			

La tabla 36 indica el análisis ANOVA, que desglosa la variabilidad debido a la variable respuesta de fuerza de tensión, debido a los factores pectinas y plastificantes, con sus diferentes niveles. Los valores de probabilidad para el factor B es inferior a 0.05, indicando que este factor tiene significancia sobre la fuerza de tensión del bioplástico con un nivel de confianza del 95.0%.

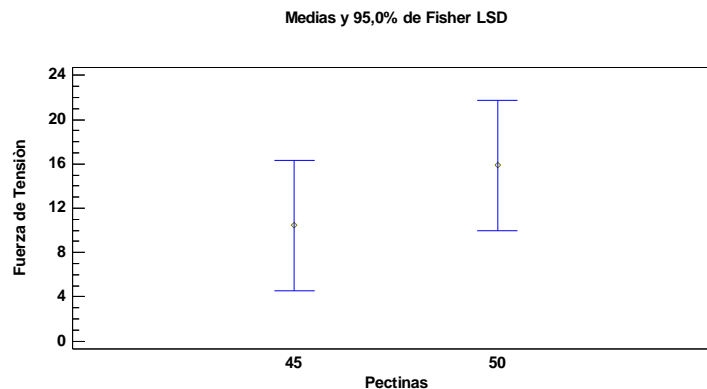
Tabla 37.

Pruebas de rangos múltiples para el factor A de la fuerza de tensión

<i>Pectinas (%)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
45% Pectina de maracuyá	6	10,4417	3,60624	A
50 % Pectina de limón	6	15,8683	3,60624	B

Figura 12.

Medias del factor A de la fuerza de tensión del bioplástico



En la figura de medias y en la tabla de pruebas de rangos múltiples se observa que el nivel a2 presenta la media más alta en cuanto a la fuerza de tensión. Esto indica que la combinación óptima para la elaboración del bioplástico de baja densidad corresponde al uso de pectina de limón Tahití y un 22,5% de glicerol como plastificante, fórmula que demostró la mayor resistencia a la tracción en los análisis realizados. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Cortez & Naranjo, 2023), quienes señalaron que la combinación de ácido acético y glicerol proporcionó mayores valores de fuerza de tensión.

4.4.4 Absorción de agua

Tabla 38.

Resultados de la prueba de absorción de agua

Tratamientos	Muestra	% de absorción	Promedio
T1	1	50,21	47,24
	2	44,27	
T2	1	88,35	92,06
	2	95,76	
T3	1	71,45	65,94
	2	60,43	
T4	1	63,80	59,80
	2	55,80	
T5	1	67,65	70,48
	2	73,32	
T6	1	83,31	73,49
	2	63,67	

Según los resultados presentados en la Tabla 38, el Tratamiento 1 registró el menor porcentaje de absorción de agua con un valor de 47,24%, mientras que el Tratamiento 2 alcanzó la mayor absorción con un 92,06%. A pesar de esta diferencia, ambos valores se encuentran dentro de rangos aceptables. De acuerdo con (Rodríguez F. , 2022), cuando los valores de absorción de agua son inferiores

al 70%, las láminas de bioplástico son aptas para su uso en embalaje de alimentos; en cambio, valores superiores a este umbral permiten su aplicación como recubrimientos de cápsulas en la industria farmacéutica, ya que una alta capacidad de absorción puede ser beneficiosa en productos que requieran hidratarse antes de su consumo. Este análisis sugiere que los bioplásticos obtenidos en esta investigación son viables para su uso en aplicaciones alimentarias. Asimismo, al comparar estos resultados con los de (Jiménez, 2023b), quien reportó un 42,90% de absorción de agua, se concluye que los valores alcanzados en este estudio son favorables y competitivos.

Tabla 39.

Análisis de varianza de la absorción de agua del bioplástico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Pectinas	0,710533	1	0,710533	0,00	0,9482
B: Plastificantes	1554,48	2	777,239	6,06	0,0250
INTERACCIONES					
AB	12,55	1	12,55	0,08	0,7856
bloques	82,7925	1	82,7925	0,53	0,4926
Error total	930,723	6	155,121		
TOTAL (CORREGIDO)	2581,25	11			

El análisis de varianza ANOVA aplicado a la absorción de agua de los bioplásticos elaborados a partir de pectina de cáscara de maracuyá y de limón Tahití, utilizando diferentes concentraciones de plastificantes, revela que el factor B (plastificantes) presenta una diferencia significativa. Esto se confirma mediante un valor de p inferior a 0,05, lo que indica que este factor tiene un efecto significativo sobre la absorción de agua del bioplástico, con un nivel de confianza del 95%.

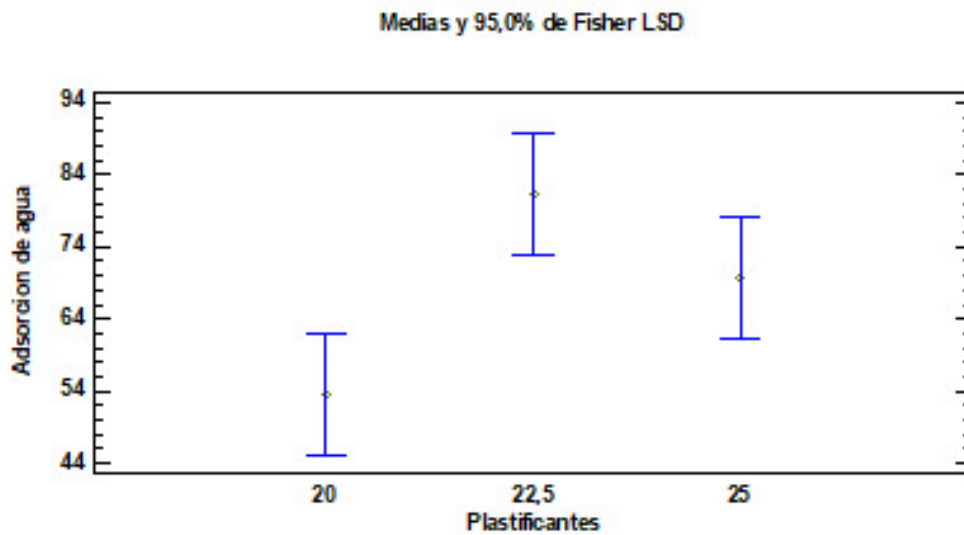
Tabla 40.

Pruebas de rangos múltiples para el factor A de absorción de agua

<i>Pectinas (%)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50% Pectina de limón	6	67,925	4,62346	A
45% Pectina de maracuyá	6	68,4117	4,62346	B

Figura 13.

Medias del factor B de la absorción de agua del bioplástico



La figura de medias y la tabla de pruebas de rangos múltiples, indica que el factor A, en el nivel b2 tiene una absorción de agua del 47,24 %, estableciendo que el tipo de plastificante en este caso % de glicerol influye significativamente en la absorción de agua del bioplástico de baja densidad.

4.4.5 Elasticidad

Tabla 41.

Datos de elasticidad del bioplástico

Tratamiento	Replica	Elasticidad (%)	Promedio Elasticidad (%)
T1	1	1,04	1,34
	2	1,63	
T2	1	18,41	20,38
	2	22,34	
T3	1	17,69	18,73
	2	19,77	
T4	1	0,57	0,45
	2	0,32	
T5	1	18,14	24,34
	2	30,54	
T6	1	20,98	23,30
	2	25,61	

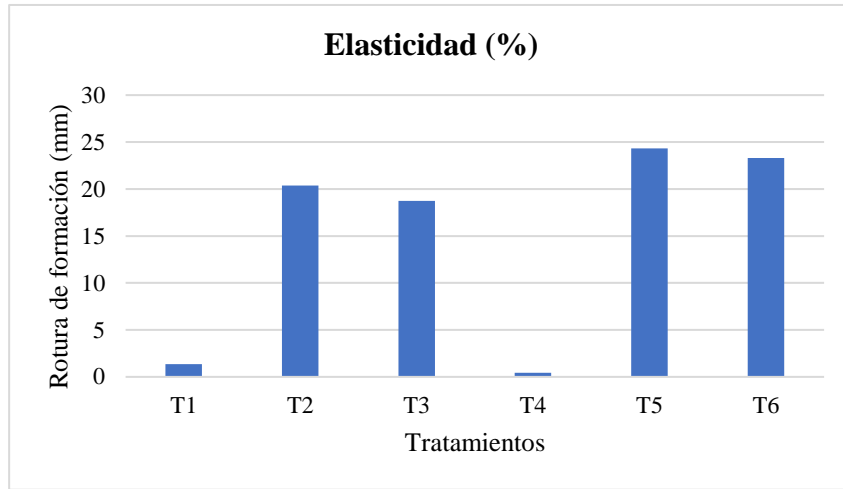
Tabla 42.

Resultados de ensayos de elasticidad para cada tratamiento

Tratamiento	Modulo Elasticidad (MPa)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (N/m ²)	Elasticidad (%)
T1	1524,86	23,3	13,13	1,34
T2	12,16	4,44	1,64	20,38
T3	8,26	3,58	1,39	18,73
T4	3513,02	28,01	5,16	0,45
T5	15,43	13,18	2,44	24,34
T6	12,09	6,41	2,93	23,30

Figura 14

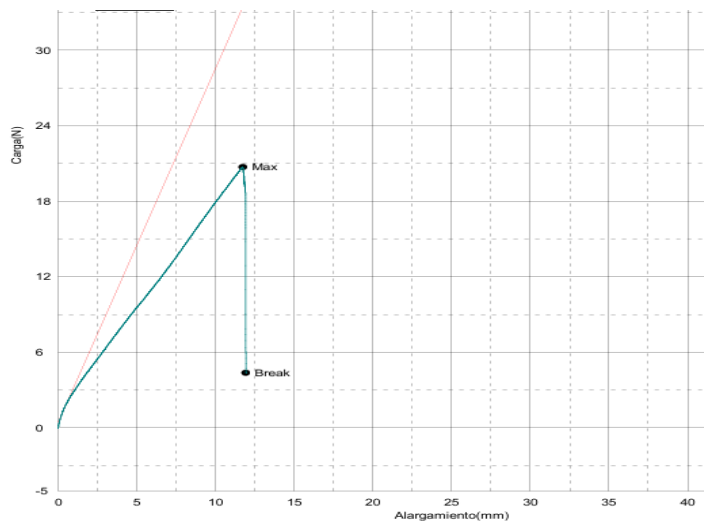
Análisis de elasticidad de los bioplásticos



La Figura 14 muestra los resultados de elasticidad de los bioplásticos, donde se observa que los tratamientos T2, T3, T5 y T6 presentan valores muy similares, con rangos que fluctúan entre 18,73% y 24,34%. Al comparar estos resultados con los reportados por (Ichina, 2021) quien obtuvo valores de elasticidad entre 20,16% y 31,22% en bioplásticos biodegradables elaborados a partir de almidón de fréjol para envoltura de alimentos, se evidencia que los resultados de la presente investigación son comparables y se encuentran dentro de rangos similares.

Figura 15.

Resultados del mejor tratamiento de elasticidad T5



En la figura 15 se muestra el tratamiento T5 como mejor resultado con 12,09 mm de desplazamiento y una fuerza de 20,71 N un módulo elástico de 6,78 Mpa.

Tabla 43.

Análisis de varianza de la elasticidad del bioplástico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Pectinas	19,4565	1	19,4565	2,12	0,1960
B: Plastificantes	809,83	1	809,83	88,10	0,0001
INTERACCIONES					
AB	14,8785	1	14,8785	1,62	0,2504
bloques	45,552	1	45,552	4,96	0,0676
Error total	55,1549	6	9,19248		
TOTAL (CORREGIDO)	1291,81	11			

El análisis de varianza aplicado a la elasticidad de la bioplástica evidencia que únicamente el factor B (plastificantes) presenta diferencias significativas, dado que su valor de p es inferior a 0,05. Esto indica que el tipo y concentración de plastificante influyen de manera significativa en el porcentaje de elasticidad de los bioplásticos elaborados a partir de pectina de cáscara de maracuyá y limón Tahití, con un nivel de confianza del 95%.

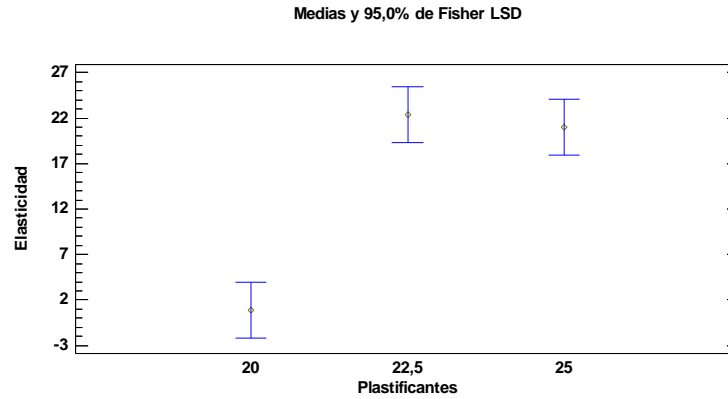
Tabla 44.

Pruebas de rangos múltiples para el factor B de la elasticidad del bioplástico

<i>Plastificantes (%)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20% grenetina	4	0,89	1,93679	A
25% sorbitol	4	21,0125	1,93679	B
22,5% glicerol	4	22,3575	1,93679	C

Figura 16.

Medias del factor B de la elasticidad del bioplástico



En la tabla de pruebas de rangos múltiples y en la figura correspondiente, se observa que la media más alta de elasticidad corresponde al nivel b2. Por lo tanto, la combinación óptima para la elaboración del bioplástico está conformada por 1,5 g de pectina, 1 ml de ácido acético y 1 ml de glicerol, formulación que, según los análisis realizados, presentó el mayor porcentaje de elasticidad.

4.4.6 Pruebas de biodegradabilidad (suelo, agua y ambiente)

Por otro lado, las pruebas de biodegradabilidad, se colocaron muestras de 2 x 2 cm en tres medios: suelo, agua y ambiente, a una profundidad de 2cm desde la superficie en los casos de agua y suelo. Los recipientes con las muestras se mantuvieron un espacio cerrado, con baja humedad y exposición parcial a la luz solar. Se realizaron mediciones semanales hasta evidenciar un avanzado grado de biodegradación de las muestras.

Tabla 45.

Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en suelo

Peso muestra(g)							
Tratamiento	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
1	53,58	46,91	53,56	47,04	47,94	46,60	46,16
2	53,69	48,17	55,76	48,91	48,81	47,85	47,41
3	52,93	46,37	51,84	46,67	48,26	46,51	45,63
4	53,36	46,51	55,37	46,57	47,01	45,89	45,57
5	53,23	47,44	50,99	47,45	48,53	47,11	46,39
6	53,45	45,20	47,16	45,42	46,54	44,93	44,32

Figura 17.

Biodegradabilidad del bioplástico en suelo

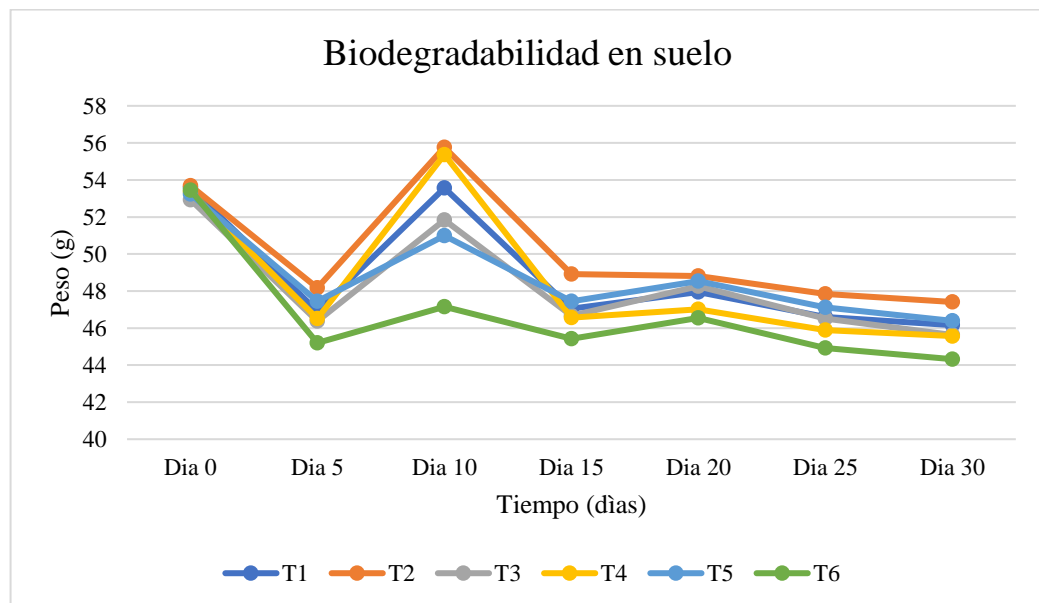


Tabla 46.

Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en agua

Tratamiento	Peso muestra(g)						
	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
1	67,81	66,44	53,56	57,32	53,03	51,74	50,30
2	80,58	76,02	55,76	66,82	62,49	61,26	60,46
3	70,95	67,20	51,84	58,77	54,51	53,24	51,68
4	50,31	47,61	55,37	41,73	39,02	38,23	37,17
5	47,81	44,88	50,99	39,17	36,42	35,60	34,49
6	55,91	52,77	47,16	46,57	43,65	42,82	41,58

Figura 18.

Biodegradabilidad del bioplástico en agua

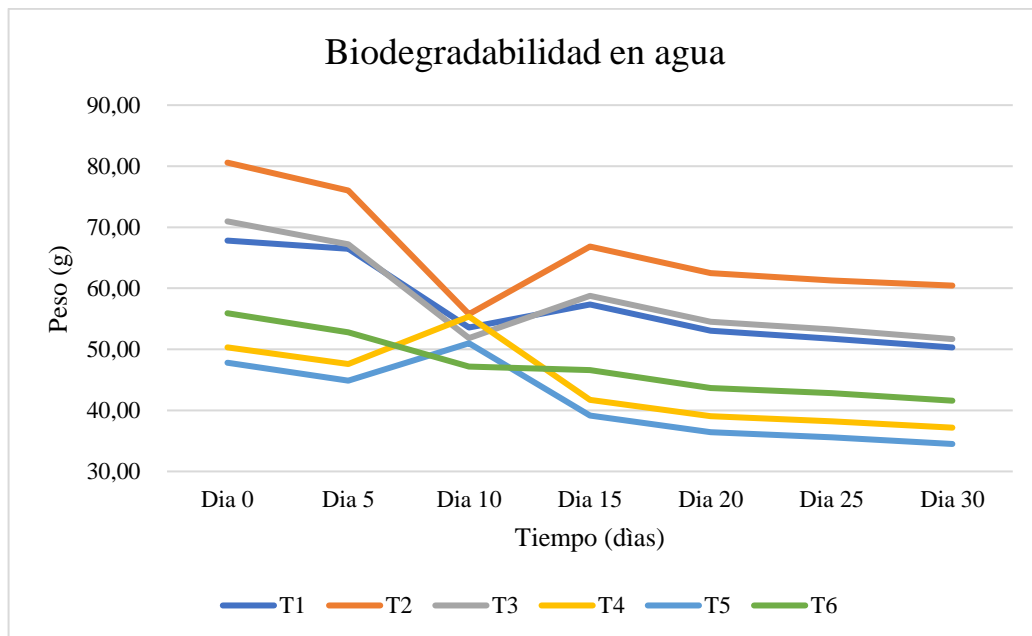


Tabla 47.

Datos obtenidos de la prueba de biodegradabilidad en ambiente

Tratamiento	Peso muestra(g)						
	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
1	3,33	3,52	3,28	3,42	3,27	3,27	3,21
2	3,18	3,08	3,09	3,10	3,10	3,10	3,10
3	3,39	3,62	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
4	3,35	3,64	3,33	3,61	3,24	3,25	3,21
5	3,49	3,82	3,23	3,30	3,21	3,21	3,21
6	3,50	3,94	3,22	3,23	3,23	3,23	3,23

Figura 19.

Biodegradabilidad del bioplástico en ambiente

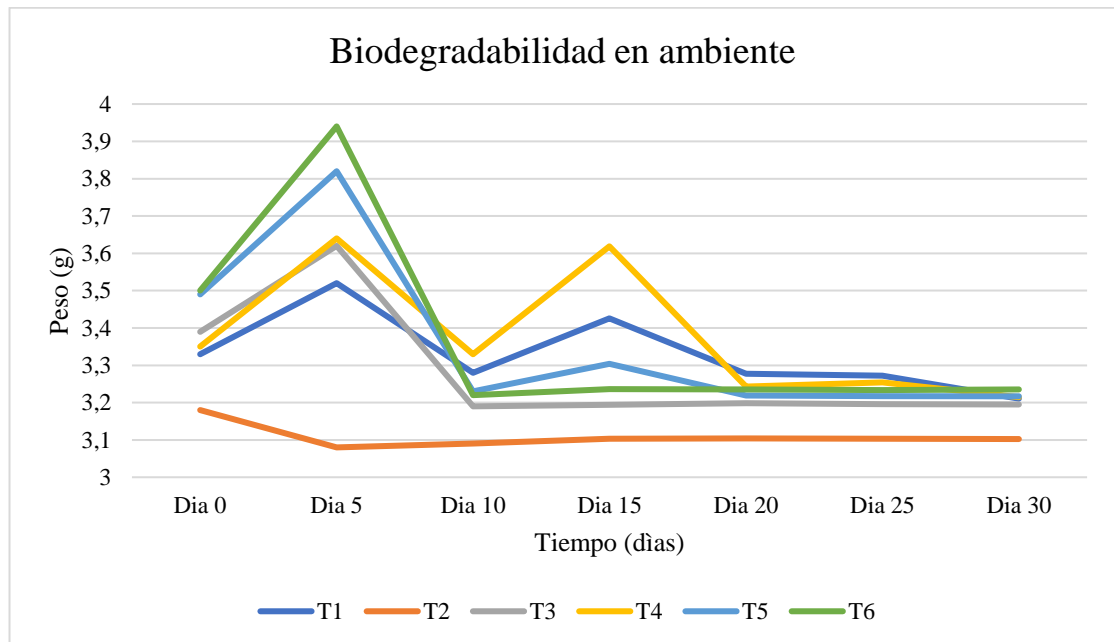


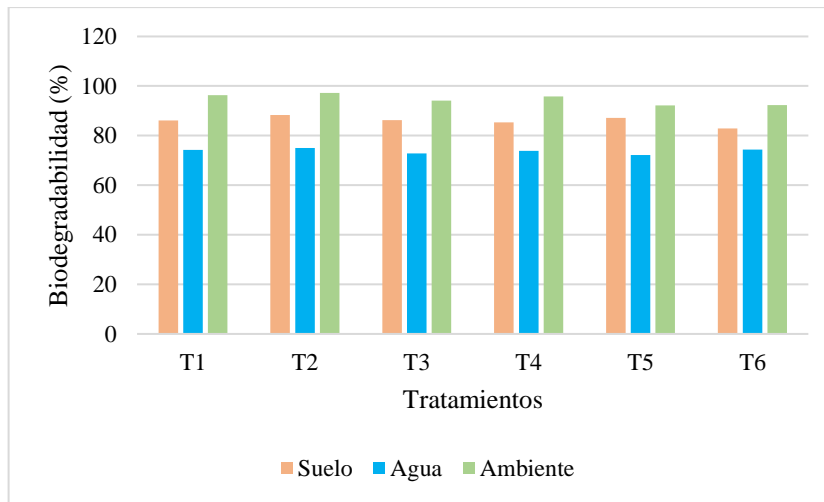
Tabla 48.

Resultados de la prueba de biodegradabilidad

Tratamiento	Días	Biodegradabilidad (%)		
		Suelo	Agua	Ambiente
1	30	86,16	74,18	96,33
2	30	88,29	75,02	97,26
3	30	86,21	72,83	94,07
4	30	85,40	73,87	95,78
5	30	87,14	72,15	92,17
6	30	82,92	74,37	92,32

Figura 20.

Resultados de la prueba de biodegradabilidad



La Tabla 42 y la Figura 20 muestran que, después de 30 días, el menor porcentaje de biodegradación se registró en agua, con un 75,02%, seguido por el suelo con un 88,29%, mientras que el mayor porcentaje de biodegradación se observó en el aire, con un 97,26%. Estos resultados se atribuyen a las condiciones climáticas presentes durante el período de evaluación (del 6 de febrero al 6 de marzo de 2025). Al comparar estos valores con los reportados por (Rodríguez F. , 2022) , quien obtuvo un 23,74% de biodegradación en ambiente y un 80,77% en agua en un periodo de

38 días para plásticos biodegradables elaborados a base de almidón de chirivía, se evidencia que, en términos de biodegradación en ambiente, los resultados de la presente investigación son superiores. Sin embargo, en condiciones de biodegradación en agua, los resultados de Rodríguez son ligeramente superiores a los obtenidos en este estudio. Estas diferencias pueden atribuirse a las variaciones en las formulaciones de los bioplásticos y a las condiciones ambientales específicas de cada investigación.

4.5 Obtención de la lámina de bioplástico de baja densidad

Para la obtención de la lámina se utilizó un molde de silicona, el cual fue sigilosamente seleccionada por su flexibilidad y fácil manejo al momento de desmoldar el bioplástico.

Se procedió a la preparación del bioplástico utilizando una combinación de pectina de limón Tahití, ácido acético, glicerol y agua destilada, esta preparación se lo realizo usando el mejor tratamiento que en base al estudio realizado en esta investigación se consideró al tratamiento T5.

Figura 21.

Obtención del bioplástico de baja densidad en base al mejor tratamiento



4.6 Costos de producción a nivel de laboratorio

4.6.1 Costo de producción

Para calcular el costo de producción se inició con el cálculo de costo de la elaboración de la lámina de bioplástico considerando los materiales en el proceso.

Tabla 49.

Costo beneficio

Costo de la elaboración del bioplástico					
Insumos	Cantidad	Precio/unitario \$	Unidades utilizadas	Precio \$	25 % de utilidad
Pectina de la cáscara de limón	20 gr	1,25	6 gr	0,375	PVP= (Costo de producción) / (1-25%)
Gliserol	2000 gr	2,23	4 gr	0,004	
Ácido acético	500 g	1	4 gr	0,008	
Costo total de producción				0,387	0,51

$$PVP = \frac{\text{Costo de producción}}{1 - 25\%}$$

$$PVP = 0,51 \text{ ctvs. de } 60 \text{ gr de bioplastico}$$

$$\text{Costo beneficio} = \frac{0,51}{0,387}$$

$$\text{Costo beneficio} = \$ 1,33$$

La producción de 60 gr de bioplástico de baja densidad a partir de la pectina de limón junto con el plastificante glicerol y ácido acético tiene un costo de 0,387 ctvs. y con un margen de ganancia del 25%, el precio de venta será 0,51 ctvs. La aplicación del análisis costo-beneficio arrojó un valor de 1,33, lo que indica que por cada dólar invertido en la producción de láminas de bioplástico, se obtiene un beneficio adicional de 0,33 centavos.

4.7 Comprobación de hipótesis

En el desarrollo de esta investigación, se formularon las siguientes hipótesis:

4.7.1 Hipótesis nula (H_0)

No es viable extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia* tahití).

$$H_0 = T1 = T2 = T3 = T4 \dots \dots = Tn$$

4.7.2 Hipótesis alternativa (H_a)

Es viable extraer la pectina mediante hidrólisis ácida a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) y limón tahití (*Citrus aurantifolia* tahití).

$$H_a \neq T1 \neq T2 \neq T3 \neq T4 \dots \dots \neq Tn$$

En función a la investigación desarrollada del bioplástico de baja densidad, tanto los hallazgos de este estudio como la bibliografía previamente citada proporcionan evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, esto indica que es viable la extracción de la pectina mediante la hidrólisis ácida sometida a diferentes condiciones de extracción.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La cáscara de maracuyá amarilla y la de limón Tahití se encuentran dentro de los rangos esperados para cada uno de los parámetros analizados, lo que las hace idóneas para la presente propuesta. En cuanto al contenido de humedad, la cáscara de maracuyá amarilla presentó el valor más alto, con un 12,70%. En los porcentajes de cenizas, pH y compuestos volátiles, no se observaron diferencias significativas entre ambos tipos de cáscaras. Sin embargo, la cáscara de maracuyá presentó los mayores obtenidos de celulosa y lignina.
- La extracción de pectina por medio de hidrólisis ácida alcanzó sus mejores resultados en los tratamientos 4 y 10, los cuales corresponden a la extracción de pectina a partir de cáscara de maracuyá y cáscara de limón Tahití, respectivamente, utilizando ácido cítrico. Las condiciones óptimas de extracción fueron una temperatura de 80 °C y un pH de 2.
- El tratamiento T5 resultó ser la formulación más adecuada, compuesta por 1,5 g de pectina de limón Tahití, 1 ml de glicerina, 1 ml de ácido acético y 23 ml de agua destilada.
- La caracterización de los bioplásticos se realizó para cada uno de los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento T5 el que presentó los mejores resultados. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, se obtuvo un contenido de humedad del 26,02%, un pH de 3,25 y una absorción de agua del 70,48%. En las pruebas de tracción, el bioplástico alcanzó una tensión de 13,18 MPa, un módulo de elasticidad de 67,8 MPa, una elasticidad del 24,34% y un esfuerzo

máximo de 1,26 MPa. Finalmente, las pruebas de biodegradabilidad realizadas en tres medios —agua, ambiente y suelo— reportaron porcentajes de biodegradación del 72,15% en agua, 92,17% en ambiente y 87,14% en suelo.

- Finalmente, se elaboró una lámina de bioplástico de baja densidad utilizando la formulación del mejor tratamiento, compuesta por componentes biodegradables. Esta propuesta tiene como objetivo reducir el uso de recursos no renovables y reducir la generación de residuos no biodegradables. Además, no solo se buscó que el bioplástico cumpla con las propiedades mecánicas requeridas, sino también que sea ambientalmente amigable, contribuyendo así a la sostenibilidad y a la protección del entorno.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con otro tipo de materias primas.
- Para extraer la pectina del limón trabajar con la cáscara fresca.
- Durante la mezcla de la pectina con etanol, la agitación no debe exceder de un minuto.
- Se recomienda la adquisición de equipos para las pruebas mecánicas de biopolímeros y bioplásticos.

Bibliografía

- Acofarma. (2020). *Fichas de informacion tecnica de la glicerina*. Obtenido de <https://formulasmagistrales.acofarma.com/idb/descarga/3/f0652fb8453f4dc1.pdf>
- Aguiar, S., Enríquez, M., & Uvidia, H. (20 de Octubre de 2021). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Tierra. Puyo, Pastaza, Ecuador*, 5.
- Aimplas. (2020). *¿Qué son los bioplásticos?* Obtenido de <https://www.aimplas.es/blog/que-se-entiende-por-bioplasticos/>
- AIMPLAS. (6 de Abril de 2020). *¿Qué son los bioplásticos?* Obtenido de aimplas.es: <https://www.aimplas.es/blog/que-se-entiende-por-bioplasticos/>
- Alucho, J., Ramos, S., & Saltos, D. (2021). *Tecnologías para el desarrollo de biopolímeros, como una alternativa en la sustitucion del plastico (pet)*. Universidad Estatal de Bolívar-Ecuador. Obtenido de <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/aci/article/view/1034>
- AMGROUP. (2023). *¿Qué son los termoplásticos?* Obtenido de aristegui.info: <https://www.aristegui.info/que-son-los-termoplasticos/>
- Ángel, S. C., & Manuel, E. C. (2020). *Desarrollo y caracterizacion de un bioplastico a partir de cascara de maracuya*. Peru: Escuela academico profesional de ingenieria agroindustrial y comercio exterior. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7450/Escribano%20Cajo%20V%C3%ADctor%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arrieta, Á., & Durango, L. (2020). *Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidon de yuca*. Revista Espacios. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.pdf>
- Arrieta, A., Durango, L., & Arizal, E. (2020). *Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidon de yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Espacios. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.pdf>

- Barragán, B., Téllez, Y., & Laguna, A. (24 de Junio de 2020). Utilización de residuos agroindustriales. *Sistemas Ambientales*, II(1), 45. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Barragan/publication/310441706_UTILIZACION_DE_RESIDUOS_AGR_OINDUSTRIALES/links/582d2bcb08ae004f74b94c1c/UTILIZACION-DE-RESIDUOS-AGROINDUSTRIALES.pdf
- Bermúdez, A. (2020). *Análisis socioeconómico de la producción y comercialización del limón tahití (Citrus auratifolia tahití) en la microcuenca del Río Chico en el cantón Portoviejo*. Manta - Ecuador: Universidad laica Eloy Alfaro de Manabí.
- BioPolymers. (26 de Mayo de 2022). *Tipos de bioplástico*. Obtenido de primebiopol.com/: <https://primebiopol.com/los-3-tipos-de-bioplastico-que-debes-conocer/>
- Bustamanante, P., Lizama, B., Olaiz, G., & Vazquez, F. (2020). *Ftalatos y Efectos en la salud*. Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/370/37017405.pdf>
- Campos, J., Acosta, K., Moreno, C., & Paucar, L. (2023). Maracuyá (*Passiflora edulis*): Composición nutricional, compuestos bioactivos, aprovechamiento de subproductos, biocontrol y fertilización orgánica en el cultivo. *Scientia Agropecuaria*, XIV(4). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172023000400011
- Cañizares, A., & Jaramillo, E. (2021). *El cultivo de maracuya en Ecuador*. Machala: Universidad Tecnica de Machala.
- Cárdenas, L. (10 de Diciembre de 2021). *Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de papa chaucha (Solanum phureja) para el uso en alimentos*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16741/1/96T00668.pdf>
- Castillo, A. (16 de Junio de 2021). *¿Qué es la grenetina y para qué sirve realmente?* Obtenido de foodandwineespanol.com: <https://foodandwineespanol.com/secciones/actualidad/que-es-la-grenetina-y-para-que-sirve-realmente/>

- Cedia. (24 de Abril de 2023). *Contexto global y nacional: plásticos*. Obtenido de Contexto global y nacional: Plásticos:
<https://connect.cedia.edu.ec/contexto-global-y-nacional-plasticos/>
- Charchalac, L. (14 de Septiembre de 2021). *Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (Passiflora edulis var. flavicarpa)*. Obtenido de bdigital.zamorano.edu:
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/120c3a12-cfb2-45a0-af5e-ae607acb7efd/content>
- Cheng, G., Duan, X., Jiang, Y., Sun, J., Yang, S., Yang, B., . . . Luo, Y. (2020). Handling Strategies and Facilities for Horticultural Crops. (F. chemistry, Ed.) *International journal of molecular sciences*, 14, 43-47.
 doi:10.3390/ijms141223356
- Clemente, E. (6 de Julio de 2020). *La pectina, qué es y sus usos en repostería*. Obtenido de directoalpaladar.com:
<https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/la-pectina-que-es-y-sus-usos-en-reposteria>
- Còrdova, L. (2021). *Obtención y caracterización de una bioplástico a partir de residuos de cacao y aceite esencial de limon para el uso en alimentos*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cortez, J., & Naranjo, M. (2023). *Desarrollo tecnologico Agroindustrial para la obtención de plástico biodegradable a partir de las cáscaras de papa*. Guaranda: Universidad Estatal de Bolivar.
- Crosa, L. (2021). *¿Qué es Sorbitol?* Obtenido de Ecoceutics:
<https://www.ecoceutics.com/respuestas-de-salud/salud/que-es-sorbitol/>
- Cuesta, M., & Muñoz, R. (2020). *Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá*. Laboratorio de Química Orgánica e Investigaciones Aplicadas.
- DANE. (18 de Diciembre de 2020). *Cultivo del limón o lima Tahití (Citrus latifolia Tanaka) frente a los efectos de las condiciones climáticas adversas*. Obtenido de Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Ins_umos_nov_2015.pdf

Dias, K., Pereira, L., Barbosa, M., Souza, V., Magalhães, P., Reis, E., . . . Pereira, D. (2019). Desarrollo y morfología de la raíz del maracuyá en diferentes substratos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*.

Díaz, C. (2021). *Obtención de una biopelícula a partir de yuca amarilla y pepa de aguacate para el usos en alimentos*. Riobamba: Escuela Politécnica de Chimborazo.

Ebures, A. (2020). *Folleto Informativo pH*. Obtenido de [waterboards.ca.gov](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf):
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf

Ecodes. (2024). *Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI*. Obtenido de <https://ecodes.org/hacemos/cultura-para-la-sostenibilidad/salud-y-medioambiente/observatorio-de-salud-y-medio-ambiente/contaminacion-por-plasticos-uno-de-los-mayores-desafios-ambientales-del-siglo-xxi>

Envaselia. (2022). *Biodegradabilidad*. Obtenido de [ensavelia.com](https://www.ensavelia.com/blog/que-es-biodegradable-id17.htm):
<https://www.ensavelia.com/blog/que-es-biodegradable-id17.htm>

Escribano, V. (9 de Noviembre de 2020). *Desarrollo y caracterización de un bioplástico a partir de la cascara de maracuyá (Passiflora edulis)*. Obtenido de Universidad :
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7450/Escribano%20Cajo%20V%20adctor%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Epoch. (2020). *Proyecto politécnico genera bioplásticos utilizando residuos agrícolas*. Obtenido de <https://historicoweb.epoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/5701-proyecto-polit%C3%A9cnico-genera-biopl%C3%A1sticos-utilizando-residuos-agr%C3%ADcolas.html>

Eurolab. (2020). *Capacidad de absorción de líquidos - Pruebas de hidrofiliidad*. Obtenido de <https://www.eurolab.com.tr/es/sektorel-test-ve-analizler/spesifik-testler/hidrofilite-testi>

- Ferreira, S. (2020). *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*.
Obtenido de Universidad Nacional De Colombia:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79929?show=full>
- Flores, J., & Caballero, C. (2020). *Una interpretación aproximativa del concepto de Hidrólisis en estructuras peptídicas en un curso de Bioquímica del IPC*.
Brasil: Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Obtenido de
<https://www.academia.edu/38379323/HIDROLISIS>
- Franco, I. (2022). *Obtención de pectina a partir de la cáscara de pepino (Cucumis sativus) mediante hidrólisis ácida como aprovechamiento de residuos hortícolas*. Guayaquil - Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
Obtenido de
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/Franco%20Carvache%20Ivonne%20Maoly.pdf>
- Garcés, L., & Rodríguez, A. (2019). Evaluación de la fotodegradación sensibilizada con TiO₂ Y Fe³⁺ para aguas coloreadas. *LASALLISTA*, 54.
Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69510209.pdf>
- García, C., & Sánchez, F. (2021). *Uso de los residuos de la cáscara de banano (Musa paradisiaca), para la elaboración de material plástico biodegradable, Espam MFL*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Obtenido de
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1429/1/TTMA21D.pdf>
- García, K. (17 de Octubre de 2020). *Estudio de mercado y prefactibilidad del cultivo de limón tahití (Citrus aurantifolia) en la provincia de Santa Elena*.
Obtenido de UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2710/1/T-UCSG-PRE-TEC-EADR-13.pdf>
- González, E. (2020). Caracterización físico mecánica de biopelículas comestibles binarias a base de k - carragenato y gelatina de alto acilo/physico. Obtenido de
<https://www.proquest.com/openview/11a540a534b20535776a71db766571ad/1?cbl=1806352&pq-origsite=gscholar>

- Gottau, G. (11 de Marzo de 2021). *Fibra soluble y fibra insoluble: cuáles son sus diferencias y en qué alimentos podemos encontrarla*. Obtenido de vitonica.com: <https://www.vitonica.com/alimentos/fibra-soluble-fibra-insoluble-cuales-sus-diferencias-que-alimentos-podemos-encontrarla-1>
- Hernández, A., Real, N., Delgado, M., Bautista, L., & Velasco, J. (9 de Septiembre de 2020). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 14. Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/795/660>
- Hernández, E., Cruz, R., Robledo, F., & Santoyo, L. (24 de Febrero de 2019). Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 17. Obtenido de redalyc.org: <https://www.redalyc.org/pdf/579/57938203.pdf>
- Herrán, L. (8 de Mayo de 2019). *Miscibilidad*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/409171298/Miscibilidad>
- Ichina, J. (2021). *Obtención de plástico biodegradable a partir del almidón de frèjol negro para envoltura de alimentos*. Riobamba: Escuela Superior Politècnica de Chimborazo.
- Industrial Physics. (2023). *Pruebas de módulo de elasticidad*. Obtenido de <https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/pruebas-de-modulo-de-elasticidad/>
- INEC. (2022). *Ficha técnica de Agricultura*. Obtenido de Sistema Integrado de consulta de Clasificación y Nomenclatura: https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_agricola.php?id=01322.01.04
- Infinitia. (12 de Mayo de 2022). *Ensayos de biocompatibilidad en materiales*. Obtenido de [infinitiaresearch.com](https://www.infinitiaresearch.com): <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-de-biocompatibilidad-en-materiales/>
- Jiménez, M. (2023a). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de pectina de cáscara de maracuyá para uso como recubrimiento de frutas frescas*. Riobamba - Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21070/1/56T01291.pdf>

- Jiménez, M. (2023b). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de la pectina de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis) para uso como recubrimiento de frutas frescas*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21070/1/56T01291.pdf>
- Joaquid, D., & Villada, H. (2019). *Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón*. Biotecnología en el sector Agroalimentario y Agroindustrial. Obtenido de
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>
- Ledesma, A. (2021). *Obtención de bioplástico a partir del maíz (Zea mays l) y quinua (Chenopodium quinoa) para envolturas alimenticias biodegradables*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Obtenido de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14974/1/96T00630.pdf>
- Lema, E., Manzo, N., Baque, L., & Moreira, M. (2021). Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigarla contaminación por plástico. *Ingeniería e Innovación*, 8. Obtenido de
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2407/3023>
- Liluyacc, R. (2021). *Efecto de la temperatura, tiempo y PH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara de tumbo serrano (Passiflora tripartita L.)*. Obtenido de alicia.concytec.gob.pe:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNH_b23391c18cd935d0b6b9cead1509f264/Details
- Málaga, S.A.M. (3 de Marzo de 2021). *El polietileno de baja densidad, qué es y qué se obtiene de su reciclado*. Obtenido de limpiezademalaga.es:
<https://limpiezademalaga.es/el-polietileno-de-baja-densidad-que-es-y-que-se-obtiene-de-su-reciclado/>
- Maldonado, S., & Palma, R. (2021). *Residuos agroindustriales generados en Ecuador*. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí.
- Mariscal, Z., Esparza, A., & Coello, E. (25 de Junio de 2023). Contaminación ambiental por desechos plásticos en la ciudad de Babahoyo, Ecuador. (Z. Mariscal, A. Esparza, & E. Coello, Edits.) *Estudios del Desarrollo Social*:

- Cuba y América Latina*, 11, 45-46. Obtenido de <https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/7307/6232>
- Martínez, M., López, H., & Orduz, J. (1 de Junio de 2020). *Generalidades del cultivo, descripción botánica, variedades y fenología de la lima ácida Tahití*. Obtenido de Siembra: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/67/50/709-1?inline=1>
- Martínez, Y., & Ríos, A. (21 de Marzo de 2020). *Caracterización agromorfológica de 31 accesiones de Gulupa (Passiflora edulis f. edulis Sims) en la Granja Tesorito de la Universidad de Caldas*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia sede Palmira: https://www.researchgate.net/profile/John-Ocampo-3/publication/340085191_Caracterizacion_agromorfolologica_de_31_accesiones_de_Gulupa_Passiflora_edulis_f_edulis_Sims_en_la_Granja_Tesorito_de_la_Universidad_de_Caldas/links/5e7680df92851cf2719d9f5e/Caracteriz
- Merchán, R. (2019). *Plásticos Biodegradables A Partir De Cascaras De Maracuyá*. Obtenido de academia.edu: https://www.academia.edu/38462527/P1%C3%A1sticos_Biodegradable_A_Partir_De_Cascaras_De_Maracuy%C3%A1_docx
- Merchan, R. (2022). *Plásticos Biodegradable a partir de cascara de Maracuya*. Universidad de Guayaquil.
- Morales, M. (2019). *Comparación de la mor ación de la morfología y biología flor fología y biología floral de P al de Passiflor assiflora*. Obtenido de Ciencia Unisalle : <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1070&context=biologia>
- Moran, S. (2022). *Los desechos plásticos aún ingresan al Ecuador sin control*. Planv. Obtenido de <https://www.planv.com.ec/historias/plan-verde/desechos-plasticos-aun-ingresan-al-ecuador-sin-control>

- Morillas, A. V. (2022). *Bioplásticos y plásticos Biodegradables*. Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de <https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2021/01/bioplasticos.pdf>
- Muñoz, J. (2022). *Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c2c06b9d-86c1-43e2-83e3-3eecbb12653d/content>
- Nadaf, M. (11 de Julio de 2022). *¿QUÉ ES LA ELASTICIDAD?* Obtenido de [mecanicadelamoto.com: https://mecanicadelamoto.com/blog/que-es-la-elasticidad#:~:text=La%20elasticidad%20es%20la%20capacidad%20de%20un%20cuerpo%20material%20deformado,comporta%20\(o%20responde\)%20el%20el%C3%A1sticamente](https://mecanicadelamoto.com/blog/que-es-la-elasticidad#:~:text=La%20elasticidad%20es%20la%20capacidad%20de%20un%20cuerpo%20material%20deformado,comporta%20(o%20responde)%20el%20el%C3%A1sticamente).
- Net InterLab s.a. (2022). *Qué es determinación de humedad en alimentos*. Obtenido de <https://net-interlab.es/determinacion-de-humedad-en-alimentos/#:~:text=La%20determinaci%C3%B3n%20de%20humedad%20en%20alimentos%20generalmente%20se%20realiza%20mediante,tiempo%20y%20aumenta%20la%20temperatura>.
- Ochoa, J., & Roncal, T. (2020). *Bioplásticos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS/link/0deec5259a321bf86e000000/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Organización Panamericana de la salud. (16 de Agosto de 2023). *Expertos discuten el impacto de los microplásticos en la salud y alertan del aumento de su propagación*. Obtenido de [paho.org: https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion#:~:text=Los%20micropl%C3%A1sticos%20son%20diminutas%20part%C3%ADculas,medio%20ambiente%20especialmente%20el%20mar](https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion#:~:text=Los%20micropl%C3%A1sticos%20son%20diminutas%20part%C3%ADculas,medio%20ambiente%20especialmente%20el%20mar).

- Parada, M. (2020). *Hidrólisis*. Concepto. Obtenido de <https://concepto.de/hidrolisis/>
- Pincay, W. (13 de Octubre de 2021). *Renovación de cultivo de limón de la asociación de producción agrícola y citricultores 1° de Mayo (ASOPACIMA), en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6295/1/UPSE-TIA-2021-0064.pdf>
- PlasticsEurope. (2019). *An Analysis on European plastics*. Obtenido de <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2015-Plastics-the-facts.pdf>
- Prieto, R. (2023). Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 8. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcci/v38n1/2619-6107-rcci-38-01-22.pdf>
- Púa, A., & Barreto, G. (2021a). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón tahití en dos estados de maduración*.
- Púa, A., Barreto, G., Vallejo, F., & Ariza, C. (2019). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón Tahití (citrus x latifolia) en dos estados de maduración*. Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/320291973_Extraccion_y_caracterizacion_de_la_pectina_obtenida_a_partir_de_la_cascara_de_limon_Tahiti_citrus_x_latifolia_en_dos_estados_de_maduracion
- Quiceno, M., Giraldo, G., & Villamizar, R. (2020). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. (U. L. Colombia, Ed.) *UGCiencia*, 20, 48-54. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/268087837.pdf>
- Quiñonez, P., & Zea, D. (2022). *Cadena de valor de las exportaciones de maracuyá en Ecuador: diagnóstico 2015-2019*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6099/609977043004/html/>

- Quirumbay, J. (6 de Noviembre de 2021). *Determinación de las propiedades físicas y relaciones matemáticas de limón sutil (Citrus aurantifolia swingle) cultivado en la comuna Febres Cordero*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena:
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6423/1/UPSE-TIA-2021-0117.pdf>
- Quispe, C. X. (2020). *Obtención de pectina a partir de cáscara de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza) y zanahoria amarilla (Daucus carota)*. Riobamba - Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo. Obtenido de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13098/1/96T00551.pdf>
- Riera, M., & Palma, R. (2020). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador*. Universidad Técnica de Manabí.
- Riera, M., & Palma, R. (2020). *Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos*. Portoviejo: Revista Ingeniería Industrial.
- Rimarc, A. (2020). Bioplásticos. *Universidad Científica del Sur*, 6. Obtenido de
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/806/TB-Rimarc%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez, F. (27 de Junio de 2022). *Síntesis y análisis del proceso de obtención de un Bioplástico biodegradable a partir del almidón de Chirivía (Pastinaca Sativa) para el uso en el embalaje de alimentos*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17760/1/96T00803.pdf>
- Rodriguez, J., Katherine Acosta, C. M., & Paucar, L. (2023). Maracuyá (*Passiflora edulis*): Composición nutricional, compuestos bioactivos, aprovechamiento de subproductos, biocontrol y fertilización orgánica en el cultivo. *Scientia Agropecuaria*, 481. Obtenido de
<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v14n4/2077-9917-agro-14-04-479.pdf>
- Rolleat. (2022). *¿Cuál es el impacto medioambiental del plástico?* Obtenido de
<https://rolleat.com/es/impacto-ambiental-del-plastico/>

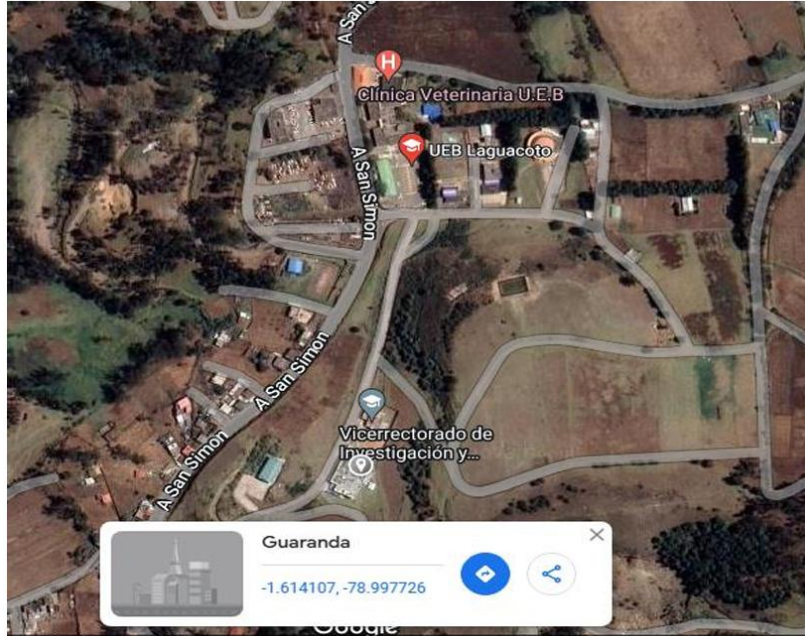
- Romero, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Instituto Tecnológico Metropolitano*, XXV(54).
Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/>
- Romero, N. (19 de Abril de 2023). *Descripción Botánica de la Maracuyá*.
Obtenido de Scribd:
<https://es.scribd.com/document/639292428/Descripcion-Botanica-de-la-Maracuya>
- Salinas, J., Garcia, R., & Rodríguez, I. (27 de Septiembre de 2022). *EFEECTO DEL USO DE DOS DISTANCIAS DE SIEMBRA ENTRE HILERAS Y DOS DISTANCIAS BETWEEN PLANTS IN TWO VARIETIES OF PASSION FRUIT (Passiflora edulis)*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA:
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19875/1/TTUACA-2022-IA-DE00017.pdf>
- Sosa, M., Zega, C., & Villagran, A. (2023). *Evaluación de métodos para la determinación de la absorción en agregados finos reciclados*. Obtenido de <https://revistahormigon.org/n63-sosa-zega-villagranzaccardi/>
- Tafur, V. (2021). La maracuyá (*Passiflora edulis* fv *flavicarpa* Degener). En V. Tafur, *La maracuyá (Passiflora edulis fv flavicarpa Degener)* (págs. 101-102).
- Tecnopol. (2024). *La Prueba de Tensión*. Obtenido de <https://tecnopol.es/actualidad/la-prueba-de-tension>
- Todo En Polímeros. (21 de Diciembre de 2019). *TRANSICIÓN VÍTREA*. Obtenido de todoenpolimeros.com: <https://todoenpolimeros.com/>
- Universidad de Murcia. (2022). *pH*. Unidad de Innovación Docente. Obtenido de <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-y-control-alimentario/practicas/determinacion-del-ph>
- Valero, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2020). BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS. *Universidad de La Sabana*, 172. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>

- Vargas, P., & Medina, O. (2019). *Influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa (solanum tuberosum)*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Vera, J., & Anchundia, G. (2020). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de las frutas mediante digestión anaerobia*. Portoviejo - Ecuador: Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN.
- Villalba, R., Gómez, J., & Parra, M. (2019). MANUAL TECNICO DEL CULTIVO DE MARACUYA. En R. Villalba, J. Gómez, & M. Parra, *MANUAL TECNICO DEL CULTIVO DE MARACUYA*. NEIVA: Litocentral Ltda.
- Zumárraga, J. (29 de Marzo de 2019). *EFECTO DE LOS PRETRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA SACARIFICACIÓN DEL BAGAZO DE Agave tequilana*. Obtenido de Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.: https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/676/1/PCER_M_Tesis_2012_Jose_Alberto_Zumarraga_Pech.pdf

ANEXOS

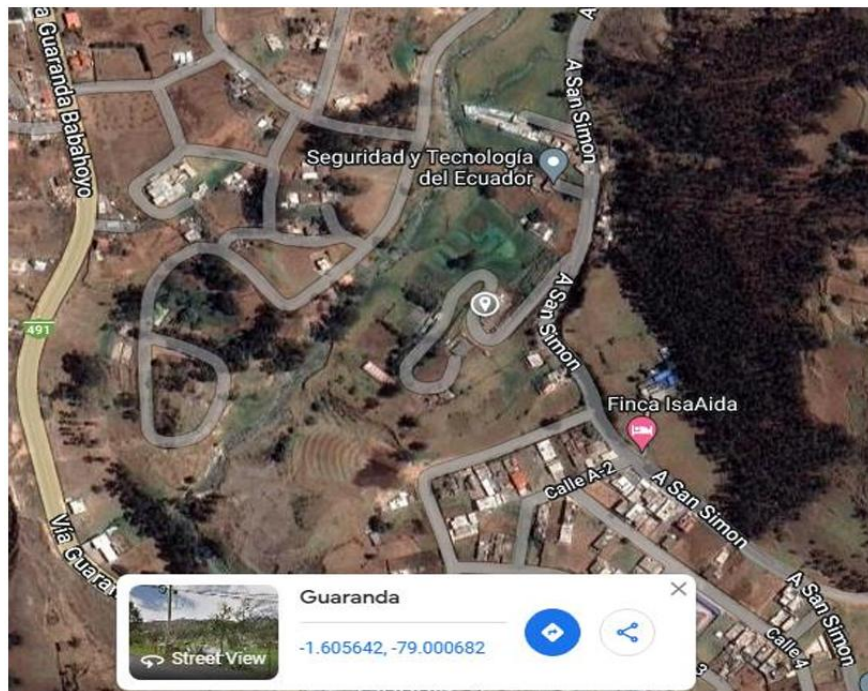
Anexo 1.

Mapa y coordenadas del laboratorio de vinculación de la UEB



Anexo 2.

Mapa y coordenadas del laboratorio general de la UEB



Anexo 3.

Glosario de términos técnicos

Biocompatibilidad: se describe como la cualidad que posee un material de generar una respuesta biológica aceptable durante el tiempo y modo de contacto de una aplicación específica. (Infinitia, 2022)

Lignocelulosa: es el material más abundante en nuestro planeta, se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina, cuyas proporciones en las plantas varían de la siguiente manera: 20-55% de celulosa, 16-85% de hemicelulosa y de 15 a 40% de lignina y que se combinan en una matriz molecular. (Zumárraga, 2019)

Fibras solubles: es aquella fibra que absorbe una gran cantidad de líquido para formar geles viscosos tras su hidratación. Incluye entre otros componentes el almidón resistente, pectinas, gomas, mucílagos, etc. (Gottau, 2021)

Fotodegradación: consiste en la destrucción de contaminantes mediante radiación solar ultravioleta ó lámparas de luz y catalizadores, para formar radicales hidroxilos que oxidarán los contaminantes químicos. (Garcés & Rodríguez, 2019)

Microplásticos: son consideradas como diminutas partículas de plástico, menores a 5 milímetros, compuestas de polímeros y aditivos potencialmente tóxicos. (Organización Panamericana de la salud, 2023)


Miscibilidad: es la propiedad de un líquido para mezclarse en otro líquido todas las proporciones, formando una solución homogénea. La miscibilidad depende de la temperatura. (Herrán, 2019)

Termoplástico: es considerado como un plástico que a altas temperaturas puede fundirse, permitiendo luego darle diversas formas. Se derrite cuando se calienta y se endurece cuando se enfría. (AMGROU, 2023)

Transición vítrea: es el cambio reversible a un polímero amorfo o a regiones amorfas de un polímero semi-cristalino desde una condición viscosa o elástica a una condición rígida y relativamente quebradiza. (Todo En Polímeros, 2019)

Anexo 4.

Caracterización de la cáscara de maracuyá

 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>		Código	FPG12-01
	INFORME DE RESULTADOS		Versión	1
			Año	2025
			Página	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS N°058-2025

Descripción de la muestra					
Solicitantes	Chuquiama Mopocita Nataly Jacqueline - Sinchi Carchichabla Erika Geovanna				
Muestra	Cáscara de maracuyá				
Código asignado UEB	INV 041				
Estado de la muestra	Sólido				
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 500 g de contenido de muestra				
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrógeno – Azufre - C/N - C/H - Oxígeno - Fibra Detergente Neutra - Fibra Detergente Ácida – Lignina – Celulosa – Hemicelulosa.				
Fecha de recepción	06 de enero de 2025				
Fecha de análisis	06 al 30 de enero de 2025				
Fecha de informe	18 de marzo de 2025				
Técnico asignado	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Cáscara de maracuyá INV 041	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	12.70
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	6.89	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	82.24	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1.57
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	39.73
	Hidrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	4.76
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0.13
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	25.32
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	8.34
	Fibra Detergente Neutra	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	36.35
	Fibra Detergente Ácida	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	28.74
	Lignina	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	7.31
	Celulosa	%	CALCULADO	—	21.43
Hemicelulosa	%	CALCULADO	—	7.61	

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.




ESIDRO FAVIAN BAYAS
DIRECTOR

Ing. Favian Bayas Morejón Ph.D.
Director DIVIUEB
 Teléf. (+593) 99 031 6224

Anexo 5.

Caracterización de la cáscara de limón

 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	Código	FGP12-01
	INFORME DE RESULTADOS	Versión	1
		Año	2025
		Página	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS N°057-2025

Descripción de la muestra					
Solicitantes	Chuquiana Mopocita Nataly Jacqueline - Sinchi Carchichabla Erika Geovanna				
Muestra	Cáscara de limón				
Código asignado UEB	INV 040				
Estado de la muestra	Sólido				
Envase de recepción	Bolsa de papel con aprox. 500 g de contenido de muestra				
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono Fijo - Nitrógeno – Carbono – Hidrógeno – Azufre - C/N - C/H - Oxígeno - Fibra Detergente Neutra - Fibra Detergente Ácida – Lignina – Celulosa – Hemicelulosa.				
Fecha de recepción	06 de enero de 2025				
Fecha de análisis	06 al 30 de enero de 2025				
Fecha de informe	18 de marzo de 2025				
Técnico asignado	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Recibida
Cáscara de maracuyá INV 040	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	11.17
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	5.38	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	78.62	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1.28
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	—	40.43
	Hidrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5.07
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0.11
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	31.61
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	7.98
	Fibra Detergente Neutra	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	21.73
	Fibra Detergente Ácida	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	15.82
	Lignina	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	—	0.73
	Celulosa	%	CALCULADO	—	15.08
	Hemicelulosa	%	CALCULADO	—	5.91

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.




LEONARDO FAVIAN BAYAS MOREJÓN

Ing. Favian Bayas Morejón Ph.D.
Director DIVIUEB
Teléf. (+593) 99 031 6224


Anexo 6.

Características del biopolímero en base a sus variables

 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>		Código	FPG12-01
			Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS		Año	2025
			Página	Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS N°085-2025

Descripción de la muestra				
Solicitantes	Chuquiama Mopocita Nataly Jacqueline - Sinchi Carchichabla Erika Geovanna			
Muestra	T1: Pectina de limón + glicerol + ácido acético – T2: Pectina de limón + sorbitol + ácido cítrico - T3: Pectina de limón + grenetina + ácido acético – T4: Pectina de maracuyá + glicerol + ácido acético – T5: Pectina de maracuyá + sorbitol + ácido cítrico - T6: Pectina de maracuyá + grenetina + ácido acético			
Código asignado UEB	INV 042 – INV 043 – INV 044 – INV 045 – INV 046 – INV 047			
Estado de la muestra	Sólido			
Envase de recepción	Lamina de Bioplástico aprox. 100 g de cada muestra			
Análisis requerido(s)	Humedad – pH - Espesor			
Fecha de recepción	20 de enero de 2025			
Fecha de análisis	20 al 24 de enero de 2025			
Fecha de informe	18 de marzo de 2025			
Técnico asignado	ECCR			
RESULTADOS OBTENIDOS				
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado
T1: Pectina de limón + glicerol + ácido acético INV 042	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	26.02
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	3.25
	Espesor	mm	INEN 2542	0,18
T2: Pectina de limón + sorbitol + ácido cítrico INV 043	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	13.38
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	2.77
	Espesor	mm	INEN 2542	0.24
T3: Pectina de limón + grenetina + ácido acético INV 044	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	8.84
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	3.75
	Espesor	mm	INEN 2542	0,24
T4: Pectina de maracuyá + glicerol + ácido acético INV 045	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	26.67
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	2.98
	Espesor	mm	INEN 2542	0.18
T5: Pectina de maracuyá + sorbitol + ácido cítrico INV 046	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	18.82
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	2.69
	Espesor	mm	INEN 2542	0.25

 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>		Código	FPG12-01
	INFORME DE RESULTADOS		Versión	1
			Año	2025
			Página	Página 2 de 2

T6: Pectina de maracuyá + grenetina + ácido acético INV 047	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	10.07
	pH	-	NTE INEN 2644:2012	3.29
	Espesor	mm	INEN 2542	0.18

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



INGENIERO FAVIAN BAYAS MOREJÓN

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
Teléf. (+593) 99 031 6224

Anexo 7.

Normativa empleada para determinar el contenido de humedad

norma española

UNE-EN ISO 18134-3

Marzo 2016

TÍTULO	Biocombustibles sólidos Determinación del contenido de humedad Método de secado en estufa Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general (ISO 18134-3:2015) <i>Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 3: Moisture in general analysis sample (ISO 18134-3:2015).</i> <i>Biocombustibles sólidos. Méthode de détermination de la teneur en humidité. Méthode de séchage à l'étuve. Partie 3: Humidité de l'échantillon pour analyse générale (ISO 18134-3:2015).</i>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 18134-3:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 18134-3:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 14774-3:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité 1 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT, dentro del AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> .

EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN ISO 18134-3

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 7437:2015

© AENOR 2015
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

11 Páginas

Anexo 8.

Normativa empleada para determinar el contenido de ceniza

**INTERNATIONAL
STANDARD**

**ISO
18122**

First edition
2015-10-15

**Solid biofuels — Determination of ash
content**

*Biocombustibles solides — Méthode de détermination de la teneur en
cendres*

**iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)**

[ISO 18122:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd1e3cf-44fd-49bb-b43f-348521f5c343/iso-18122-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd1e3cf-44fd-49bb-b43f-348521f5c343/iso-18122-2015>




Reference number
ISO 18122:2015(E)

© ISO 2015

Anexo 9.

Normativas empleadas en la investigación para determinar el pH

CDU: 664.2:543.062 ICS: 67.060	 Instituto Nacional de Normalización	CIU: AL 02.02-310
Norma Técnica Ecuatoriana	HARINAS DE ORIGEN VEGETAL. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IÓN HIDRÓGENO O pH.	NTE INEN 526:2012 Segunda revisión
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la concentración de ion (pH) en las harinas de origen vegetal.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Este método es aplicable a harinas de trigo y pan.</p> <p style="text-align: center;">3. RESUMEN</p> <p>3.1 Determinar la concentración de ion hidrógeno (pH) utilizando el potenciómetro.</p> <p style="text-align: center;">4. INSTRUMENTAL</p> <p>4.1 <i>Potenciómetro</i>, con electrodos de vidrio. Estandarizado con soluciones buffer a pH 4,01 y pH 9,18</p> <p>4.2 <i>Vaso de precipitación</i> de 250 cm³.</p> <p>4.3 <i>Piceta</i>.</p> <p>4.4 <i>Balanza</i> analítica sensible a 0,1 mg.</p> <p style="text-align: center;">5. REACTIVOS</p> <p>5.1 <i>Solución estándar</i>, de valores de pH 4,01 y pH 9,18</p> <p style="text-align: center;">6. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA</p> <p>6.1 Las muestras para el ensayo deben estar acondicionadas en recipientes herméticos, limpios, secos (vidrio, plástico u otro material inoxidable), completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire.</p> <p>6.2 La cantidad de muestra de la harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativa y no debe exponerse al aire mucho tiempo.</p> <p>6.3 Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que lo contiene.</p> <p style="text-align: center;">7. PROCEDIMIENTO</p> <p>7.1 La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <p>7.2 Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro, mediante el uso de las soluciones estándar.</p> <p>7.3 Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 10 g de muestra preparada y colocar en el vaso de precipitación, añadir 100 cm³ de agua destilada, recientemente hervida y enfriada, y agitar suavemente hasta que las partículas queden uniformemente suspendidas.</p>		
<i>(Continúa)</i>		
DESCRIPTORES:		

Anexo 10.

Normativas empleadas en la investigación para determinar el material volátil

norma española

UNE-EN ISO 18123

Abril 2016

TÍTULO	Biocombustibles sólidos Determinación del contenido en materia volátil (ISO 18123:2015) <i>Solid biofuels. Determination of the content of volatile matter (ISO 18123:2015).</i> <i>Biocombustibles sólidos. Méthode de détermination de la teneur en matières volatiles (ISO 18123:2015).</i>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 18123:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 18123:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 15148:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité 1 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT, dentro del AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> .

EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN ISO 18123

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 10834:2016

© AENOR 2016
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

15 Páginas

Anexo 11.

Normativa empleada para determinar el contenido de humedad del bioplástico



Norma Española
UNE-EN ISO 18134-3
Febrero 2024

Biocombustibles sólidos Determinación del contenido de humedad Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general (ISO 18134-3:2023)


Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN-UNE 164 *Biocombustibles sólidos*, cuya secretaría desempeña CIEMAT.



EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN ISO 18134-3

Anexo 12.

Normativa empleada para determinar el contenido de pH del bioplástico

CDU: 654.2:543.062 ICS: 67.060	 Instituto Ecuatoriano de Normalización	CIIU: AL 02.02-310
Norma Técnica Ecuatoriana	HARINAS DE ORIGEN VEGETAL. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IÓN HIDRÓGENO O pH.	NTE INEN 526:2012 Segunda revisión
1. OBJETO		
1.1 Esta norma establece el método para determinar la concentración de ion (pH) en las harinas de origen vegetal.		
2. ALCANCE		
2.1 Este método es aplicable a harinas de trigo y pan.		
3. RESUMEN		
3.1 Determinar la concentración de ion hidrógeno (pH) utilizando el potenciómetro.		
4. INSTRUMENTAL		
4.1 <i>Potenciómetro</i> , con electrodos de vidrio. Estandarizado con soluciones buffer a pH 4,01 y pH 9,18		
4.2 <i>Vaso de precipitación</i> de 250 cm ³ .		
4.3 <i>Piceta</i> .		
4.4 <i>Balanza</i> analítica sensible a 0,1 mg.		
5. REACTIVOS		
5.1 <i>Solución estándar</i> , de valores de pH 4,01 y pH 9,18		
6. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
6.1 Las muestras para el ensayo deben estar acondicionadas en recipientes herméticos, limpios, secos (vidrio, plástico u otro material inoxidable), completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire.		
6.2 La cantidad de muestra de la harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativa y no debe exponerse al aire mucho tiempo.		
6.3 Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que lo contiene.		
7. PROCEDIMIENTO		
7.1 La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.		
7.2 Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro, mediante el uso de las soluciones estándar.		
7.3 Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 10 g de muestra preparada y colocar en el vaso de precipitación, añadir 100 cm ³ de agua destilada, recientemente hervida y enfriada, y agitar suavemente hasta que las partículas queden uniformemente suspendidas.		
<i>(Continúa)</i>		
DESCRIPTORES:		

Anexo 13.

Normativa empleada para determinar la tracción (elasticidad-tensión) del bioplástico



Designación: D 638 - 03

Método de prueba estándar para la tracción propiedades de los plásticos 1

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D 638; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. A épsilon superíndice (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del Departamento de Defensa.

1 Alcance*

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la tracción propiedades de los plásticos no reforzados y reforzados en forma de muestras estándar de ensayo en forma de pesa cuando se prueba bajo condiciones definidas de fi de tratamiento previo; la temperatura, la humedad y la velocidad de la máquina de pruebas.

1.2 Este método de ensayo se puede utilizar para materiales de prueba de cualquier espesor de hasta 14 mm [0,55 in.]. Sin embargo, para el análisis de muestras en forma de láminas delgadas, incluyendo fi m menos de 1.0 mm [0,04 pulg.]. De espesor, Métodos de Ensayo D 882 es el método de ensayo preferido. Los materiales con un espesor mayor de 14 mm [0,55 in.]. Debe reducirse por mecanizado.

1.3 Este método de ensayo incluye la opción de determinar el coeficiente de Poisson a temperatura ambiente. **1 Este método de ensayo y ISO 527-1 son microscópicamente equivalentes. norte ~~Sección 1.3.1 de esta norma~~ 2 Este método de ensayo no se destina a cubrir procedimientos físicos precisos. Se reconoce que la constante de velocidad de la cruzeta tipo de movimiento de prueba deja mucho que desear desde el punto de vista teórico, que pueden existir grandes diferencias entre la tasa de movimiento de la cruzeta y la velocidad de deformación entre las marcas de calibre en la muestra, y que la prueba acelera especi fi distorsionar importante característica efectos de materiales en estado plástico. Además, se dio cuenta de que las variaciones en los espesores de las muestras de ensayo, que están permitidos por estos procedimientos, producen variaciones en las proporciones de superficie-volumen de tales especímenes, y que estas variaciones pueden influir en los resultados del ensayo. Por lo tanto, cuando se desean resultados directamente comparables, todas las muestras deben ser de igual espesor. pruebas especiales adicionales deben utilizarse cuando se necesitan datos físicos más precisos. norte ~~Sección 1.3.2 de esta norma~~ 3 Este método de ensayo puede ser utilizado para las pruebas de resina moldeada fenólico o materiales laminados. Sin embargo, cuando se utilizan estos materiales como aislamiento eléctrico, tales materiales deben ser probados de acuerdo con los Métodos de Ensayo D 229 y el Método de Ensayo D 651. N ~~Sección 1.3.3 de esta norma~~ 4-Para propiedades de tracción de los materiales compuestos de resina de matriz reforzada con orientada alto módulo continuo o discontinuo 20-GPa (\geq 3.0 \times 10 \pm PS) libras, las pruebas se realizan de acuerdo con el Método de Ensayo D 3039 / D 3039M.**

1.4 Los datos de prueba obtenidos por este método de ensayo son relevantes y adecuada para su uso en el diseño de ingeniería.

1.5 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores entre paréntesis son sólo para información.

Este método de ensayo se encuentra bajo la jurisdicción del Comité ASTM D20 sobre Plásticos y es responsabilidad directa del Subcomité D20.10 sobre las propiedades mecánicas.

Edución actual aprobado el 1^o de diciembre de 2003. Publicado en enero de 2004. aprobado originalmente en 1941. Última edición anterior aprobado en 2002 como D 638 - 02a.

1.6 *Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.*

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

- D 229 Métodos de ensayo para materiales de lámina y placa rígida usados para el aislamiento eléctrico
- D 412 Métodos de prueba para caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos-Tension D 618 Prácticas para acondicionamiento Plásticos para Testing D 651 Método de prueba para resistencia a la tracción moldeados eléctricos Materiales aislantes
- D 882 Métodos de prueba para propiedades de tracción de Thin Plastic Sheetting
- D 883 Terminología Relativa a Plásticos D 1822 Método de prueba para la tracción-impacto energía para romper los plásticos y materiales de aislamiento eléctrico D 3039 / 3039M Prueba D Método para propiedades de tracción de matriz polimérica Materiales Compuestos D 4000 Clasi fi cación del Sistema para la especificación de materiales plásticos
- D 4066 Sistema de clasificación para la inyección de nylon y materiales de extrusión
- D 5947 Métodos de ensayo para las dimensiones físicas de los sólidos probetas de plástico
- E 4 Prácticas para la Fuerza de Veri fi cación de Máquinas de ensayo E 83 Prácticas para la verificación y Clasificación de Extensómetro
- E 132 Método de prueba para la Relación de Poisson a temperatura ambiente
- E 691 Práctica para la realización de un estudio entre laboratorios para determinar la precisión de un método de prueba

2.2 ISO estándar:

Para las normas ASTM citadas, visite el sitio web de ASTM, www.astm.org, o el contacto de cliente en ASTMservice@astm.org, por Annual Book of ASTM Normas Información de volumen, consulte la página Resumen de documentos de la serie en el sitio web de ASTM.

Disponible de American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43o St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*Un resumen de los cambios de sección aparece al final de esta norma.

Anexo 14.

Normativa empleada para determinar la absorción de agua del bioplástico



Designation: D 570 – 98

Standard Test Method for Water Absorption of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 570; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative rate of absorption of water by plastics when immersed. This test method is intended to apply to the testing of all types of plastics, including cast, hot-molded, and cold-molded resinous products, and both homogeneous and laminated plastics in rod and tube form and in sheets 0.13 mm (0.005 in.) or greater in thickness.

1.2 The values given in SI units are to be regarded as the standard. The values stated in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—ISO 62 is technically equivalent to this test method.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials²

2.2 ISO Standard:

ISO 62 Plastics—Determination of Water Absorption³

3. Significance and Use

3.1 This test method for rate of water absorption has two chief functions: first, as a guide to the proportion of water absorbed by a material and consequently, in those cases where the relationships between moisture and electrical or mechanical properties, dimensions, or appearance have been determined, as a guide to the effects of exposure to water or humid conditions on such properties; and second, as a control test on the uniformity of a product. This second function is particularly applicable to sheet, rod, and tube arms when the test is made on the finished product.

3.2 Comparison of water absorption values of various plastics can be made on the basis of values obtained in accordance with 7.1 and 7.4.

3.3 Ideal diffusion of liquids⁴ into polymers is a function of the square root of immersion time. Time to saturation is strongly dependent on specimen thickness. For example, Table 1 shows the time to approximate time saturation for various thickness of nylon-6.

3.4 The moisture content of a plastic is very intimately related to such properties as electrical insulation resistance, dielectric losses, mechanical strength, appearance, and dimensions. The effect upon these properties of change in moisture content due to water absorption depends largely on the type of exposure (by immersion in water or by exposure to high humidity), shape of the part, and inherent properties of the plastic. With nonhomogeneous materials, such as laminated forms, the rate of water absorption may be widely different through each edge and surface. Even for otherwise homogeneous materials, it may be slightly greater through cut edges than through molded surfaces. Consequently, attempts to correlate water absorption with the surface area must generally be limited to closely related materials and to similarly shaped specimens: For materials of widely varying density, relation between water-absorption values on a volume as well as a weight basis may need to be considered.

4. Apparatus

4.1 *Balance*—An analytical balance capable of reading 0.0001 g.

4.2 *Oven*, capable of maintaining uniform temperatures of $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4^\circ\text{F}$) and of 105 to 110°C (221 to 230°F).

5. Test Specimen

5.1 The test specimen for molded plastics shall be in the form of a disk 50.8 mm (2 in.) in diameter and 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in.) in thickness (see Note 2). Permissible variations in thickness are ± 0.18 mm (± 0.007 in.) for hot-molded and ± 0.30 mm (± 0.012 in.) for cold-molded or cast materials.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D 20.50 on Permanence Properties.

Current edition approved July 10, 1998. Published January 1999. Originally published as D 570 – 40 T. Last previous edition D 570 – 95.

² Discontinued 1994; replaced by D 1896, D 3419, D 3641, D 4703, and D 5227. See 1994 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

⁴ Additional information regarding diffusion of liquids in polymers can be found in the following references: (1) *Diffusion, Mass Transfer in Fluid Systems*, E. L. Cussler, Cambridge University Press, 1985, ISBN 0-521-29846-6, (2) *Diffusion in Polymers*, J. Crank and G. S. Park, Academic Press, 1968, and (3) "Permeation, Diffusion, and Sorption of Gases and Vapors," R. M. Felder and G. S. Huvard, in *Methods of Experimental Physics*, Vol 16C, 1980, Academic Press.

Anexo 15.

Normativa empleada para determinar el tiempo de biodegradabilidad del bioplástico



B

INTE/ISO 14855-1:2019

Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis de dióxido de carbono generado.

Parte 1: Método general.

Correspondencia: Esta norma nacional es idéntica (IDT) a la norma internacional ISO 14855-1:2012, "Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of evolved carbon dioxide. Part 1: General method"

Ambiente

Miembros de



Fecha: 2019-08-06
Primera Edición
Secretaría: INTECO
Editada e impresa por ©INTECO
Derechos reservados
ICS 83.080.01

La presente norma técnica pertenece a INTECO en virtud de los instrumentos nacionales e internacionales, y por criterios de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Salvo por autorización expresa y escrita por parte de INTECO, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún procedimiento, electrónico o mecánico, fotocopias y microfilms inclusive, o cualquier sistema futuro para reproducir documentos. Todo irrespeto a los derechos de autor será denunciado ante las autoridades respectivas. Las solicitudes deben ser enviadas a la Dirección de Normalización de INTECO. Las observaciones a este documento diríjirlas a: (506) 2283 4522 / info@inteco.org

Anexo 16.

Resultados de pruebas mecánicas del mejor tratamiento

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MUESTRA BIOPLÁSTICO PECTINA CÁSCARA DE LIMÓN CON GLICEROL

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
T1-1	1,0000	16,4000	39,6000

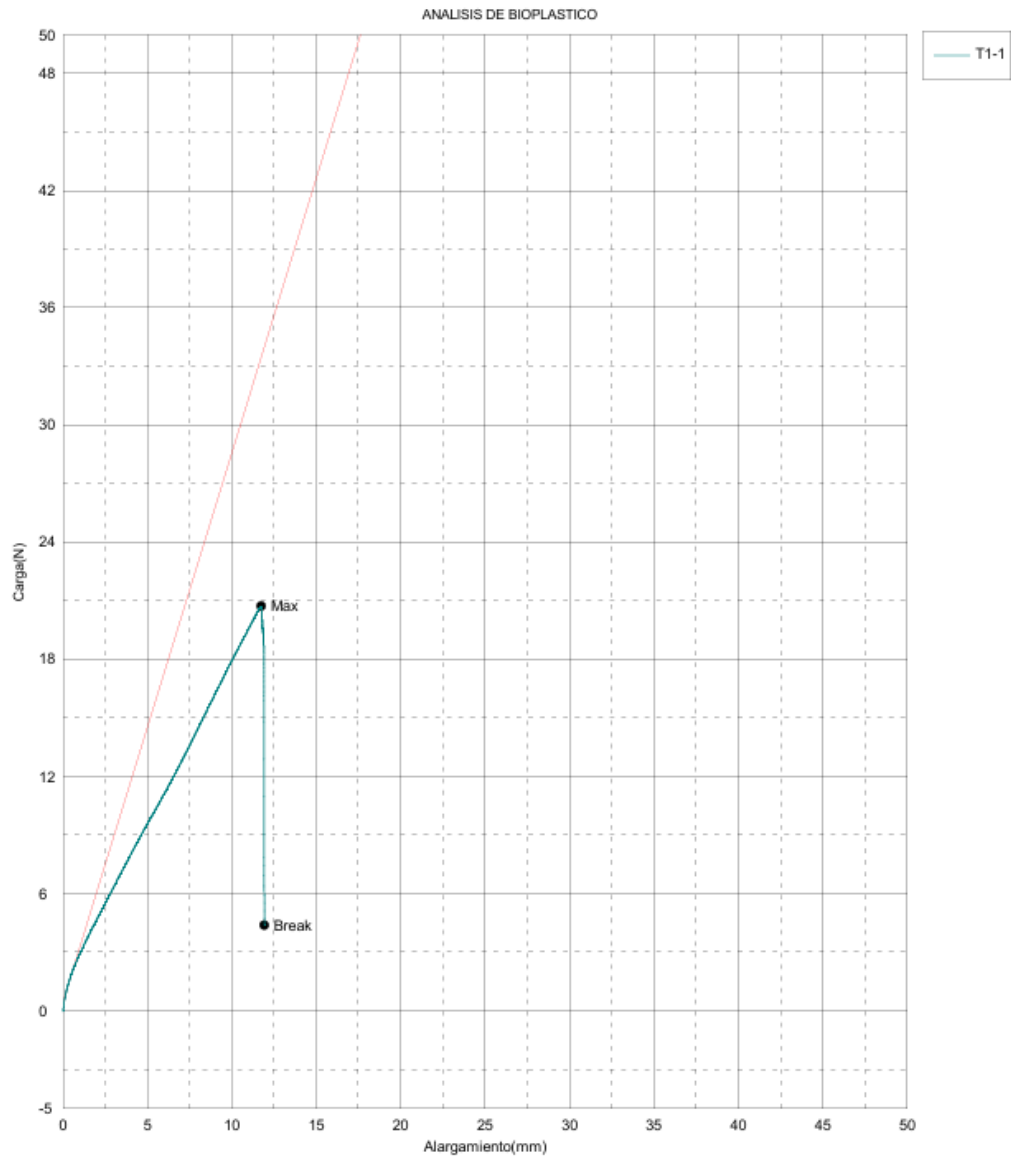
Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	1, 2 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N/mm2	N	mm	N/mm2	%
T1-1	6,78521	--	--	--	--
Media	6,78521	--	--	--	--
Desviación Estandar	,00000	--	--	--	--
Maximo	6,78521	--	--	--	--
Mínimo	6,78521	--	--	--	--
Rango	,00000	--	--	--	--
Mediana	6,78521	--	--	--	--
Media JIS	6,78521	--	--	--	--
Coef.Variacion	,00000	--	--	--	--
3 Sigma	,00000	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	N/mm2	%	J
T1-1	--	--	--	--	,13250
Media	--	--	--	--	,13250
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	,13250
Mínimo	--	--	--	--	,13250
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,13250
Media JIS	--	--	--	--	,13250
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.				0, 0	
Unidades	N	mm	N/mm2	%	N
T1-1	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Media	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Mínimo	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Media JIS	20,7175	11,8981	1,26326	30,0456	4,37750
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Acep./Rech.			0, 0
Unidades	mm	N/mm2	%
T1-1	12,0971	,26692	30,5482
Media	12,0971	,26692	30,5482
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000
Maximo	12,0971	,26692	30,5482

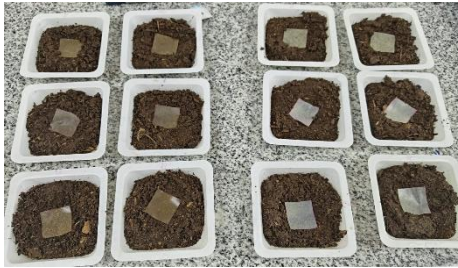
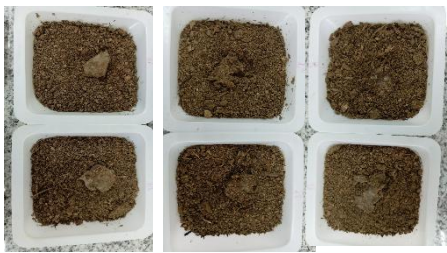
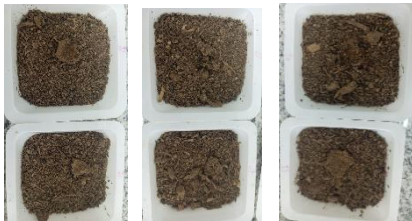
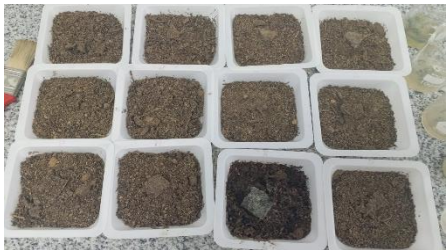
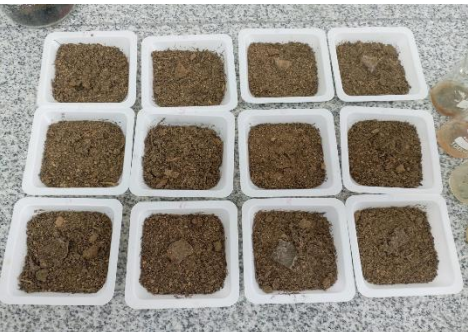


Mínimo	12,0971	,26692	30,5482
Rango	,00000	,00000	,00000
Mediana	12,0971	,26692	30,5482
Media JIS	12,0971	,26692	30,5482
Coef. Variacion	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000



Comentarios


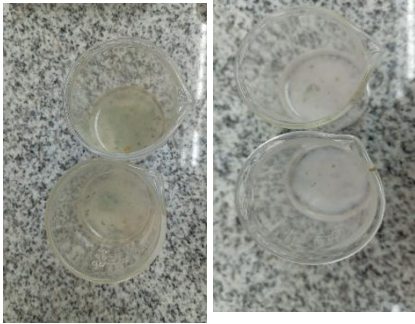

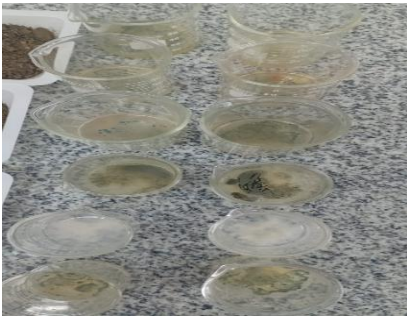
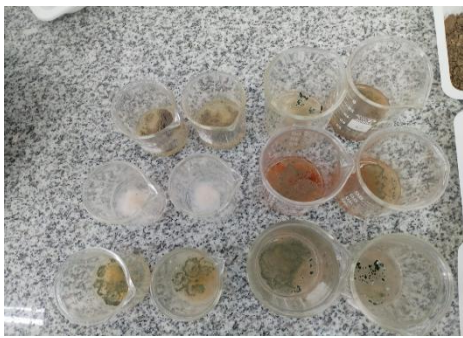
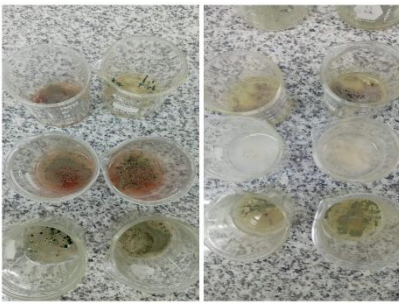
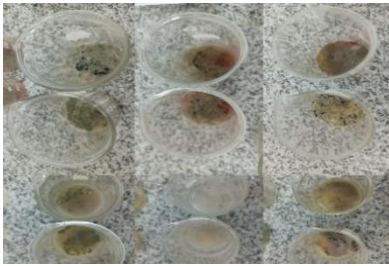
Anexo 17.

Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Suelo

<p style="text-align: center;">Día 0</p>  <p>A 3x4 grid of 12 white petri dishes, each containing a square piece of brown bioplastic on a dark brown soil substrate.</p>	<p style="text-align: center;">Día 5</p>  <p>A 2x3 grid of 6 white petri dishes. The bioplastic pieces are partially broken down and surrounded by soil.</p>
<p style="text-align: center;">Día 10</p>  <p>A 2x3 grid of 6 white petri dishes. The bioplastic pieces are significantly fragmented and integrated into the soil.</p>	<p style="text-align: center;">Día 15</p>  <p>A 3x4 grid of 12 white petri dishes. The bioplastic pieces are mostly broken down into small fragments, with some appearing as dark spots in the soil.</p>
<p style="text-align: center;">Día 20</p>  <p>A 3x4 grid of 12 white petri dishes. The bioplastic pieces are almost completely broken down, leaving only small dark fragments.</p>	<p style="text-align: center;">Día 25</p>  <p>A 3x4 grid of 12 white petri dishes. The bioplastic pieces are nearly invisible, appearing as small dark specks in the soil.</p>
<p style="text-align: center;">Día 30</p>  <p>A 3x3 grid of 9 white petri dishes. The bioplastic pieces are almost entirely degraded, leaving only small dark fragments.</p>	


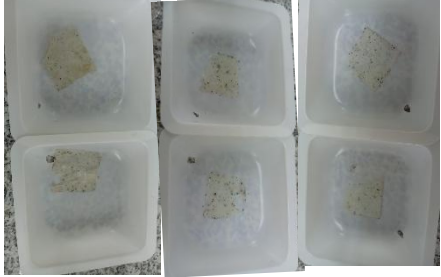
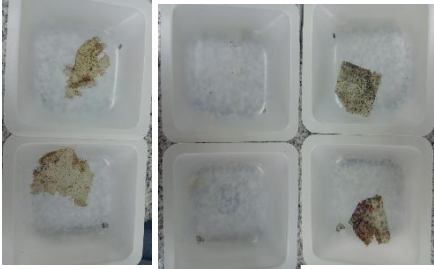
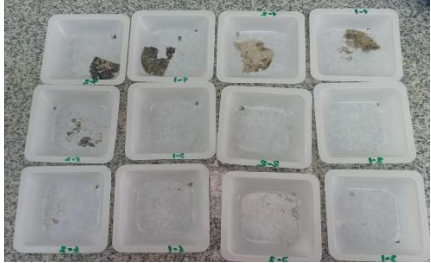

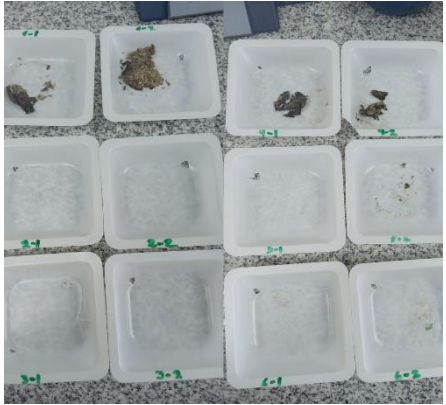
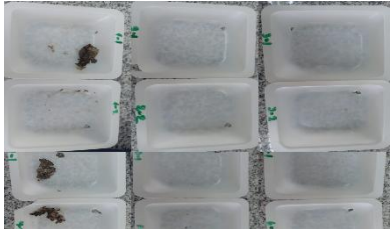
Anexo 18.

Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Agua

Día 0	Día 5
 A 3x4 grid of 12 clear petri dishes on a speckled surface. Each dish contains a small amount of clear, colorless liquid. A blue object is partially visible on the right side.	 Two sets of close-up photographs. The left set shows two dishes with a slightly yellowish liquid. The right set shows two dishes with a more opaque, whiteish liquid, indicating the start of microbial growth.
Día 10	Día 15
 Two sets of close-up photographs. The left set shows two dishes with a yellowish liquid. The right set shows two dishes with a more opaque, whiteish liquid, showing further microbial growth.	 A 3x4 grid of 12 petri dishes. The liquid in the dishes is now a mix of yellow, green, and white, with some visible dark spots, indicating significant microbial activity.
Día 20	Día 25
 A 3x4 grid of 12 petri dishes. The liquid is highly turbid and shows a variety of colors including yellow, green, and brown, with some dark spots, indicating advanced microbial growth.	 Two sets of close-up photographs. The left set shows two dishes with a yellowish liquid. The right set shows two dishes with a more opaque, whiteish liquid, showing further microbial growth.
Día 30	
 A 3x4 grid of 12 petri dishes. The liquid is highly turbid and shows a variety of colors including yellow, green, and brown, with some dark spots, indicating advanced microbial growth.	

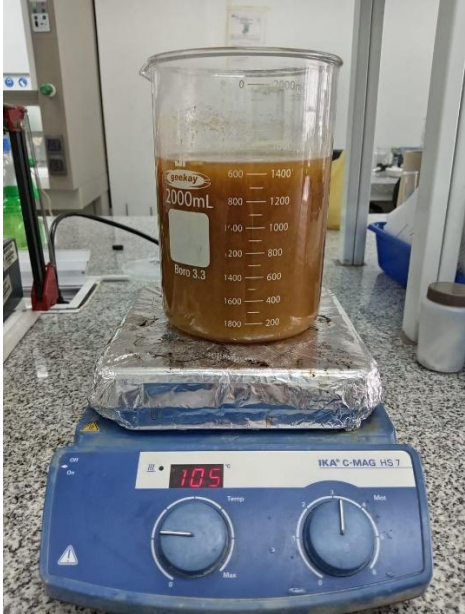
Anexo 19.

Evidencias fotográficas de biodegradabilidad del bioplástico en Ambiente

Día 0	Día 5
	
Día 10	Día 15
	
Día 20	Día 25
	
Día 30	
	

Anexo 20.

Evidencia fotográfica del desarrollo del trabajo de investigación

Secado de la materia prima	Molido de la cáscara seca de maracuyá
 A photograph showing two metal trays stacked inside a drying oven. Both trays are filled with thin, yellowish-orange slices of maracuyá (passion fruit) peels, arranged in a single layer for even drying.	 A photograph of a manual metal grinder, specifically a 'BORONA' brand, sitting on a wooden table. The grinder's hopper is filled with dried maracuyá peels, and a metal tray below it is filled with the resulting fine, light-brown powder.
Pulverización de la cáscara seca de maracuyá	Proceso de hidrólisis ácida con la cáscara triturada de maracuyá
 A photograph showing a person in a white lab coat using a mortar and pestle to grind maracuyá peels. The mortar is mounted on a base, and the pestle is being used to crush the peels into a fine powder.	 A photograph of a laboratory setup for acid hydrolysis. A 2000 mL beaker containing a brown liquid is placed on a blue magnetic stirrer (IKA C-MAG HS 7). The stirrer's digital display shows a temperature of 105 °C. The beaker is resting on a piece of aluminum foil.

Preparación de la cáscara de limón



Proceso de hidrólisis ácida con la cáscara de limón



Adición de solución ácida



Determinación de la temperatura



Determinación del pH



Filtración de la mezcla hidrolizada



Precipitación



Filtrado y obtención de la pectina



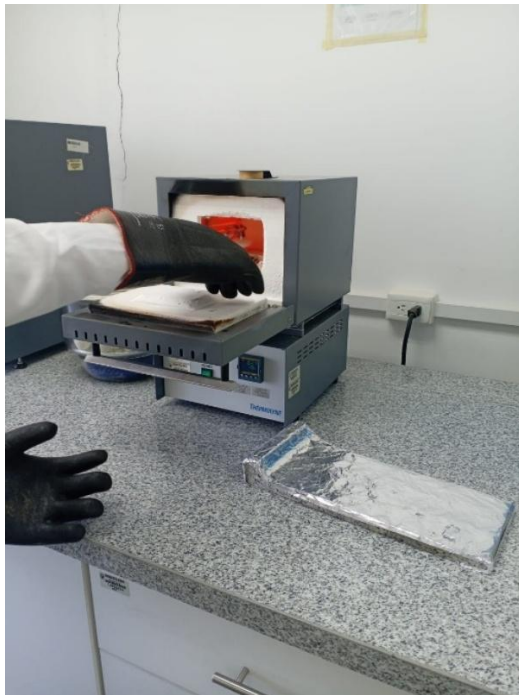
Secado de la pectina obtenida



Pulverización de la pectina obtenida



Determinación de cenizas de la cáscara de maracuyá y limón



Muestras calcinadas



Determinación de humedad de la muestra



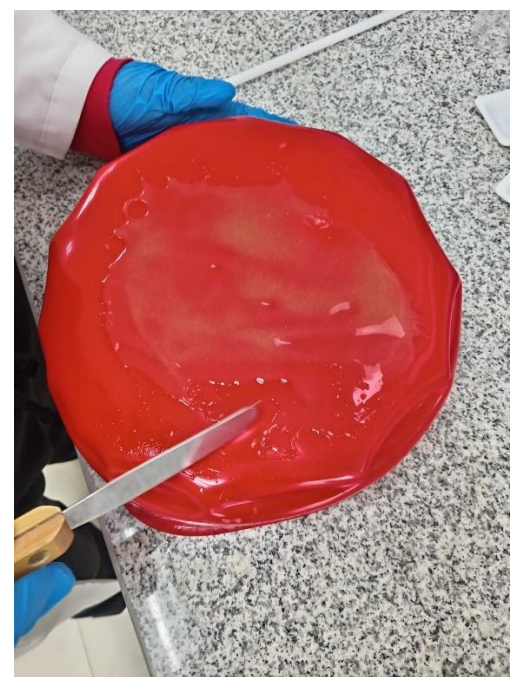
Preparación de la mezcla preliminar para obtener el bioplástico



Mezcla preliminar para la obtención del bioplástico



Esparcido por todo el molde para que todo este homogéneo



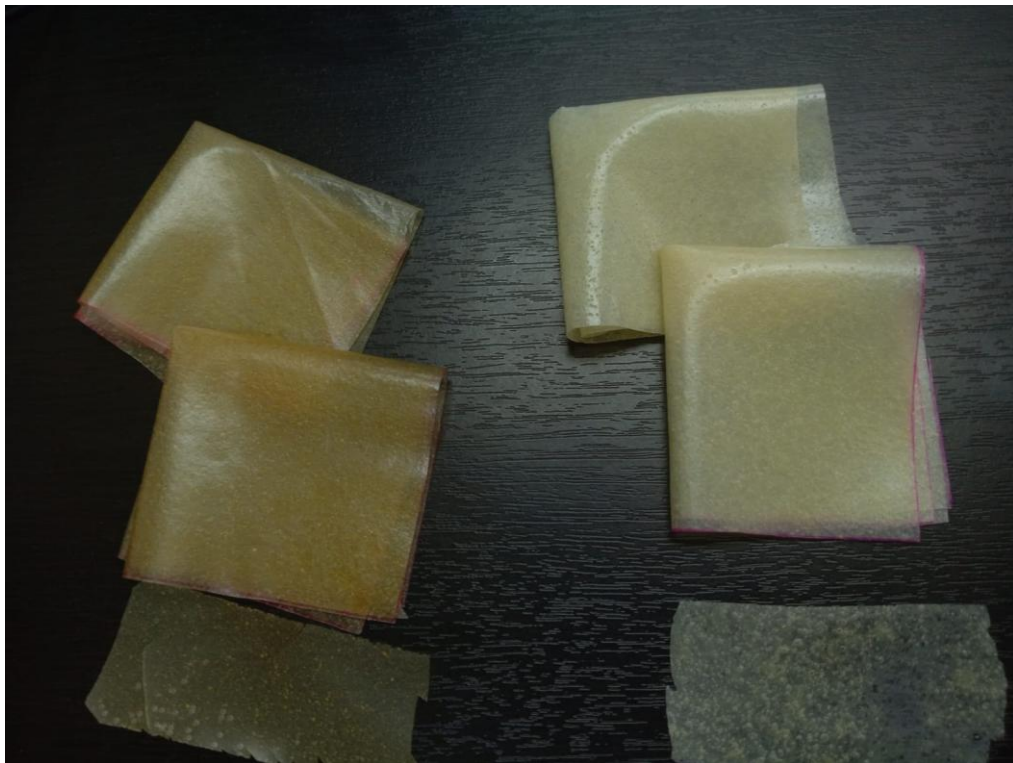
Secado de la muestra preliminar



Desmoldado del bioplástico



Bioplásticos preliminares



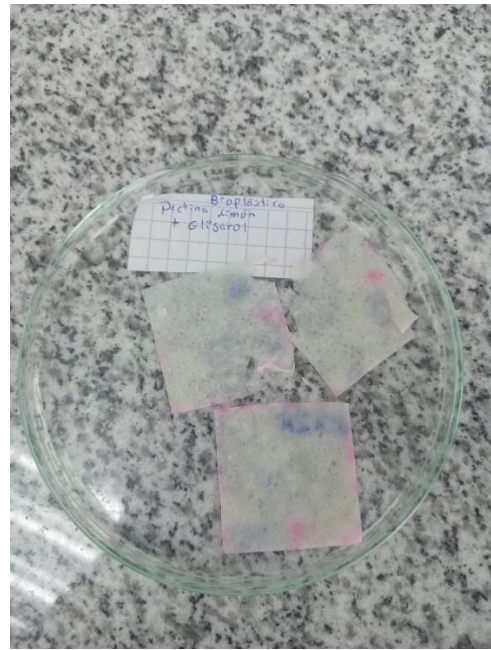
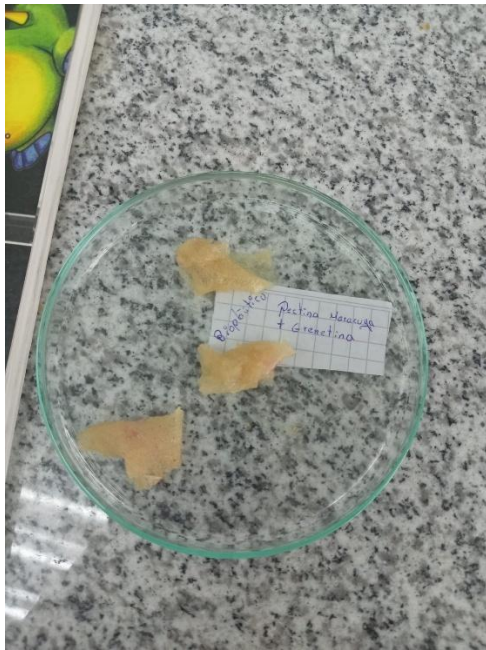
Determinación de humedad del bioplástico



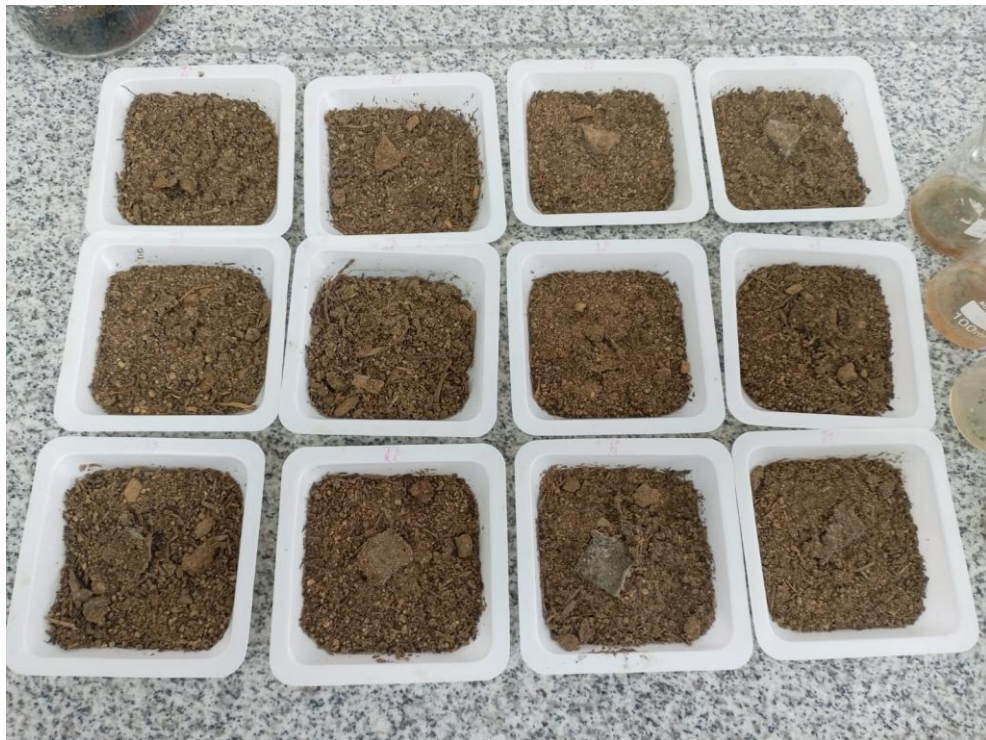
Análisis de tensión y elasticidad del bioplástico en el equipo universal para pruebas mecánicas (SHIMADZU EZ-S).



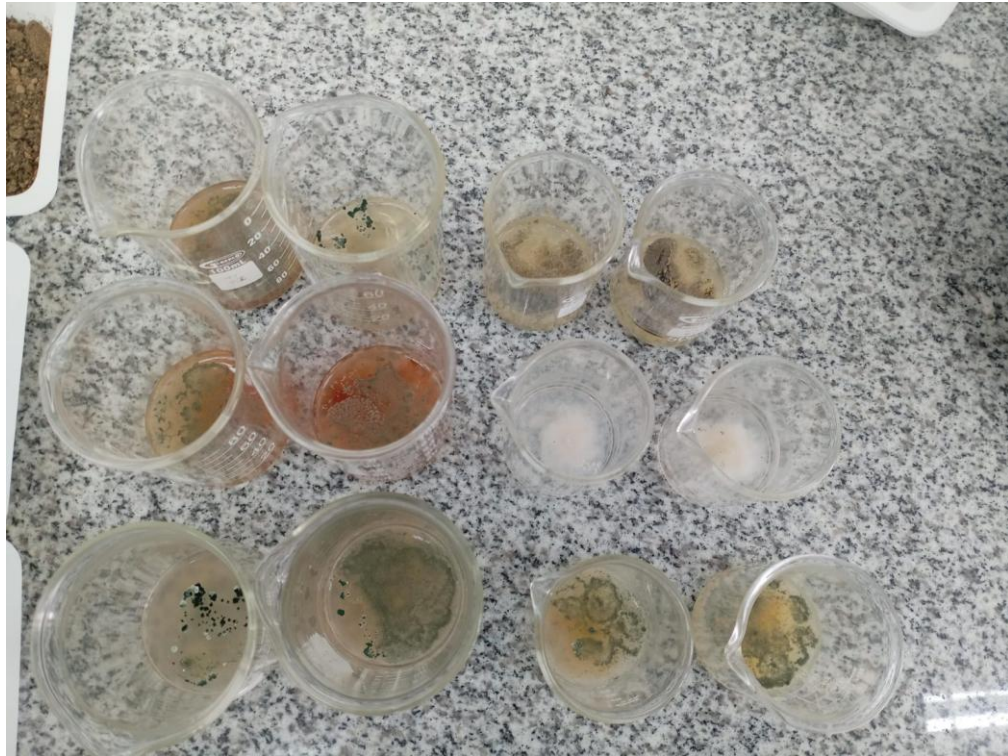
Análisis de la capacidad de absorción de agua del bioplástico



Análisis de biodegradabilidad en suelo de todos los tratamientos



Análisis de biodegradabilidad en agua de todos los tratamientos



Análisis de biodegradabilidad en ambiente de todos los tratamientos



Prueba preliminar de la elaboración del bioplástico del mejor tratamiento

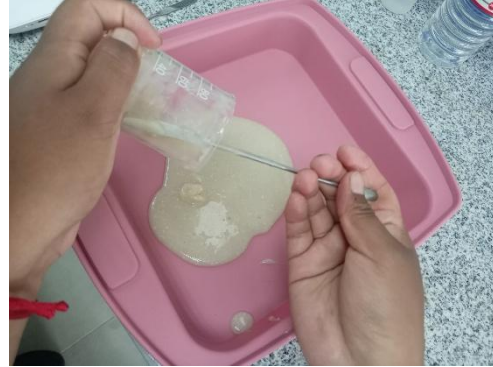
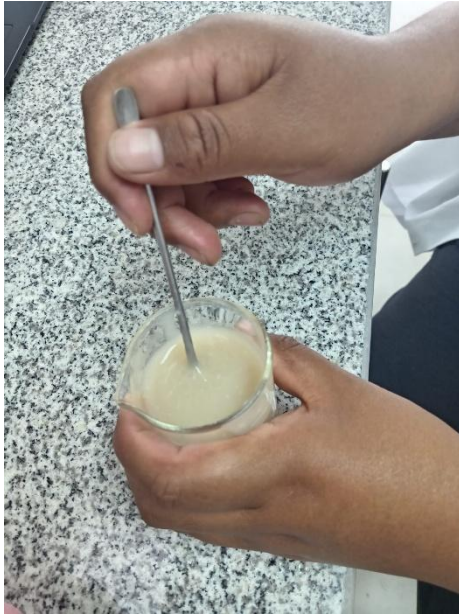


Lámina de bioplástico final

