

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**"UTILIZACIÓN DE CÁSCARA DE SANDÍA PARA LA SÍNTESIS DE UNA PELÍCULA POLIMÉRICA
BIODEGRADABLE"**

TESIS DE GRADO

MARÍA REGINA LIMA MALDONADO

CARNET 10940-14

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2022

CAMPUS CENTRAL "SAN FRANCISCO DE BORJA, S. J." DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"UTILIZACIÓN DE CÁSCARA DE SANDÍA PARA LA SÍNTESIS DE UNA PELÍCULA POLIMÉRICA BIODEGRADABLE"

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
MARÍA REGINA LIMA MALDONADO

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2022
CAMPUS CENTRAL "SAN FRANCISCO DE BORJA, S. J." DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MIQUEL CORTÉS BOFILL, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTHA ROMELIA PÉREZ CONTRERAS DE CHEN

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JOSE ANTONIO RUBIO AGUILAR, S. J.

VICERRECTORA ADMINISTRATIVA: MGTR. SILVANA GUISELA ZIMERI VELÁSQUEZ DE CELADA

SECRETARIO GENERAL: DR. LARRY AMILCAR ANDRADE - ABULARACH

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANO: MGTR. JORGE ANTONIO GUILLEN GALVÁN

VICEDECANO: ING. ENRIQUE JOSÉ DE LEÓN BRAN

SECRETARIA: MGTR. CLAUDIA LORENA MÁRQUEZ FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE CARRERA: ING. JUAN CARLOS GARCÍA CERÓN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. CARLOS RAFAEL GRAJEDA SANTISTEBAN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ANNA MARGARITA RIOS GONZÁLEZ

MGTR. JOSE IGNACIO ARAUZ AVILA

ING. FRANCISCO GERARDO MARTINEZ TURCIOS

Guatemala, 27 de octubre, 2021

Mgtr. Marya Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

Estimada Mgtr. Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: **"UTILIZACIÓN DE CÁSCARA DE SANDÍA PARA LA SÍNTESIS DE UNA PELÍCULA POLIMÉRICA BIODEGRADABLE"**. Del estudiante, **MARIA REGINA LIMA MALDONADO**, quien se identifica con el número de carnet: **1094014**

Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo de graduación.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Carlos Rafael Grajeda Santisteban
Asesor de Tesis



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
No. 02242-2021

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante MARÍA REGINA LIMA MALDONADO, Carnet 10940-14 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02279-2021 de fecha 29 de noviembre de 2021, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**"UTILIZACIÓN DE CÁSCARA DE SANDÍA PARA LA SÍNTESIS DE UNA PELÍCULA
POLIMÉRICA BIODEGRADABLE"**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA QUÍMICA en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 24 días del mes de mayo del año 2022.

MGTR. CLAUDIA LORENA MÁRQUEZ FERNÁNDEZ, SECRETARIA
INGENIERÍA

Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** Por guiar mi camino y darme fortaleza y sabiduría en los momentos de dificultad.
- A MI PAPÁ** Por ser mi inspiración, el promotor de mis sueños y mi ejemplo de responsabilidad y esfuerzo. Gracias por tu amor y apoyo incondicional.
- A MI MAMÁ** Por enseñarme a hacer siempre todo con amor y pasión. Gracias por siempre creer en mí y ser mi guía en todo momento.
- A MI HERMANAS** Por acompañarme en todo momento y darme la motivación a seguir adelante.
- A MIS AMIGOS** Que estuvieron siempre para brindarme su apoyo y consejo. Gracias por darme motivación y alegría.
- A LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR** Por ser mi casa de estudios, ser parte de mi formación profesional y enseñarme a ser un profesional con principios y valores.
- A MIS CATEDRATICOS** Por todas sus enseñanzas y brindarme el conocimiento y herramientas necesarias para lograr cumplir esta meta.
- A MI ASESOR** Por su apoyo durante todo este camino, por compartir conmigo sus conocimientos y tiempo.

DEDICATORIA

A Dios, por llenarme de bendiciones y que ha hecho este logro posible, porque me ha guiado cada paso y me permite culminar mis estudios.

A mis padres porque me han dado su apoyo incondicional, nunca han dejado de creer en mí y fueron mi motor e inspiración para alcanzar esta meta. A mi papá Iván, por ser mi mayor apoyo e inspiración, por darme fuerzas y animarme durante los momentos de mayor dificultad. A mi mamá Ana Ligia, por ser la maestra que día a día me enseña que debo perseguir lo que me apasiona y por siempre motivarme a perseguir mis sueños.

A mis hermanas, Pili, Dulce y Rita, por alegrar mis días y estar siempre presentes en mi vida. Son la luz que me motiva a ser cada día mejor y a seguir caminando con la cabeza en alto.

A mi familia, mis abuelos, tíos y primas, que ha estado presentes en cada etapa de mi vida y me han dado su cariño y apoyo en todo momento. Son la bendición más grande que tengo.

A mis amigos, que siempre estuvieron presentes a lo largo del camino, dándome los consejos, ánimos y risas que siempre me hacían falta.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Lo escrito sobre el tema	3
1.2. Marco teórico	5
1.2.1. Plásticos	5
➤ Definición de plástico	5
➤ Industria de plásticos	5
➤ Impacto ambiental de plásticos	8
1.2.2. Métodos de elaboración de películas poliméricas	9
1.2.3. Biodegradabilidad de polímeros	10
➤ Biodegradación	10
➤ Factores que afectan la biodegradación	12
➤ Estándares de biodegradabilidad	13
➤ Pruebas de biodegradabilidad	15
1.2.4. Generalidades de polímeros biodegradables	17
➤ Tipos de polímeros biodegradables	17
▪ Polímeros naturales	17
▪ Polímeros sintéticos	18
▪ Polímeros modificados	18
➤ Aplicaciones de Bioplásticos	18
▪ Empaque	19
➤ Mercado actual de Bioplásticos	20
1.2.5. Elaboración de bioplásticos a partir de desechos de frutas y vegetales	21
1.2.6. Composición de la cáscara de sandía	22
1.2.7. Producción de sandía en Guatemala	23
1.2.8. Requerimientos para material de empaque de alimentos en Guatemala	23
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
2.1. Objetivos	27
2.1.1. Objetivo General	27
2.1.2. Objetivos Específicos	27
2.2. Hipótesis	27

2.3. Variables	27
2.3.1. Dependientes	27
2.3.2. Independientes.....	28
2.4. Definición de variables	28
2.4.1. Dependientes	28
2.4.2. Independientes.....	29
2.5. Alcances y limitaciones	30
2.6. Aporte	31
III. MÉTODO	32
3.1. Sujetos	32
3.2. Unidades de análisis	32
3.3. Instrumentos	33
3.4. Procedimiento	37
3.4.1. Preparación de la cáscara de sandía.....	37
3.4.2. Síntesis del polímero.....	38
3.4.3. Determinación de la fuerza de tensión (propiedades mecánicas).....	39
➤ Prueba de fluencia lenta.....	39
➤ Prueba de resistencia	40
3.4.4. Determinación de biodegradabilidad	41
➤ Pruebas de campo (tierra).....	41
➤ Prueba de campo (medio acuoso).....	42
3.5. Diseño y Metodología estadística	43
3.5.1. Medidas de tendencia central.....	43
3.5.2. Medidas de dispersión.....	44
IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	67
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
IX. ANEXOS	77
9.1. Anexo A. Glosario	77
9.2. Anexo B. Datos Originales	79
9.3. Anexo C. Datos Calculados	89

9.4. Anexo D. Muestra de Cálculo	99
9.4.1. Rendimiento del bioplástico	99
9.4.2. Resistencia mecánica	99
9.4.3. Peso perdido durante prueba de biodegradabilidad	99
9.5. Anexo E. Fichas de Seguridad	100
9.5.1. Ficha de seguridad del Alginato de Sodio	100
9.5.2. Ficha de seguridad del Bicarbonato de Sodio	101
9.5.3. Ficha de seguridad del Metabisulfito de sodio	102
9.6. Anexo F. Figuras	103

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica no. 1. Gráfica de deformación vs. Tiempo del bioplástico sintetizado y del plástico comercial.	49
Gráfica no. 2. Curva de pérdida de masa.	51
Gráfica no. 3. Comparación entre precios de plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente y el costo de la materia prima del bioplástico sintetizado	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura no. 1. Producción de plásticos por sector, 2015.....	6
Figura no. 2. Generación de residuos plásticos por sector, 2015.....	7
Figura no. 3. Segmentación del mercado de bioplásticos en el 2019.....	19
Figura no. 4. Diagrama de preparación de la cáscara de sandía	37
Figura no. 5. Diagrama para la síntesis del polímero	38
Figura no. 6. Diagrama para prueba de fluencia lenta.....	39
Figura no. 7. Diagrama para prueba de resistencia.....	40
Figura no. 8. Diagrama de prueba de campo en tierra	41
Figura no. 9. Diagrama de Prueba de campo en medios acuosos	42
Figura no. 10. Cáscara de sandía redonda utilizada como materia prima.....	103
Figura no. 11. Cáscara de sandía redonda cortada y sumergida en antioxidante.....	103
Figura no. 12. Calentamiento de la cáscara de sandía en agua hirviendo	104
Figura no. 13. Secado de la cáscara se sandía al aire.....	104
Figura no. 14. Pasta de sandía redonda obtenida.....	105
Figura no. 15. Muestras del bioplástico elaborado con la formulación seleccionada. .	105
Figura no. 16. Muestras utilizadas para la prueba de biodegradabilidad en tierra.....	106
Figura no. 17. Muestras obtenidas en la prueba de biodegradabilidad en tierra.	106
Figura no. 18. Muestras utilizadas para la prueba de biodegradabilidad en agua.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla no. 1 Tiempos de descomposición	11
Tabla no. 2. Nomenclatura de Estándares	13
Tabla no. 3. Terminología de Biodegradabilidad Utilizada en Estándares	14
Tabla no. 4. Métodos de Prueba de Diferentes Estándares	16
Tabla no. 5. Propiedades de polímeros extraídos de residuos de frutas y vegetales....	22
Tabla no. 6. Precio promedio anual, en quetzales, de sandía redonda, mediana, de primera, por ciento.	23
Tabla no. 7. Equipo	33
Tabla no. 8. Utensilios y cristalería.....	34
Tabla no. 9. Reactivos.....	36
Tabla no. 11. Formulación final para el bioplástico.....	47
Tabla no. 12. Propiedades cuantitativas del bioplástico obtenido de la formulación óptima	48
Tabla no. 13. Rendimiento promedio del bioplástico obtenido de la formulación final...	48
Tabla no. 14. Porcentaje de humedad promedio del bioplástico	49
Tabla no. 15. Tiempo de ruptura del bioplástico y del plástico comercial.....	50
Tabla no. 16. Resistencia promedio del bioplástico y del plástico comercial.....	50
Tabla no. 17. Peso perdido en el periodo de 30 días	51
Tabla no. 18. Ecuación de las curvas de biodegradabilidad.....	52
Tabla no. 19. Tiempo aproximado que le llevaría al bioplástico degradarse totalmente	52
Tabla no. 20. Costos por gramo para la elaboración del bioplástico.	52

Tabla no. 21. Pesos para la elaboración de la pasta de sandía	79
Tabla no. 22. Pesos de materia prima para las diferentes formulaciones probadas	79
Tabla no. 23. pH de la pasta de sandía utilizada previo a ingresarlo al horno	82
Tabla no. 24. Pesos del bioplásticos seleccionado obtenidos	82
Tabla no. 25. Dimensiones del bioplástico obtenido de la formulación SR7	83
Tabla no. 26. Porcentaje de humedad del bioplástico SR7	83
Tabla no. 27. Medidas de las películas utilizadas para las pruebas de fluencia lenta. ...	83
Tabla no. 28. Tiempo de ruptura del bioplástico	84
Tabla no. 29. Cambio de longitud del bioplástico	84
Tabla no. 30. Tiempo de ruptura del plástico comercial	85
Tabla no. 31. Cambio de longitud del plástico comercial.....	85
Tabla no. 32. Medidas de las películas utilizadas para determinar la resistencia.....	86
Tabla no. 33. Peso máximo que soporta el bioplástico y el plástico comercial.....	86
Tabla no. 34. Pesos para la prueba de biodegradabilidad en tierra	87
Tabla no. 35. Pesos para la prueba de biodegradabilidad en agua.....	87
Tabla no. 36. Precios de plástico comercial y resina biodegradable	88
Tabla no. 37. Porcentajes de aditivos en formulación seleccionada	89
Tabla no. 38. Rendimiento del bioplástico SR7	89
Tabla no. 39. Tiempo promedio de ruptura	89
Tabla no. 40. Deformación del bioplástico.....	90
Tabla no. 41. Deformación del plástico comercial	90
Tabla no. 42. Peso máximo promedio que soporta el bioplástico y el plástico comercial.	91

Tabla no. 43. Resistencia del bioplástico y del plástico comercial.....	92
Tabla no. 44. Masa perdida por el bioplástico durante prueba de degradabilidad en tierra.....	93
Tabla no. 45. Masa perdida por el bioplástico durante prueba de degradabilidad en agua	93
Tabla no. 46. Porcentaje de masa perdido en tierra.....	94
Tabla no. 47. Porcentaje de masa perdido en agua	94
Tabla no. 48. Porcentaje de masa perdido promedio	95
Tabla no. 49. Ecuaciones de las curvas de pérdida de peso obtenidas por la gráfica 2	95
Tabla no. 50. Tiempo que le llevaría al bioplástico degradarse totalmente	96
Tabla no. 51. Costos de materia prima para la elaboración del bioplástico SR7.....	96
Tabla no. 52. Costos indirectos de la elaboración del bioplástico	97
Tabla no. 53. Costo de materia prima para la elaboración del bioplástico	97
Tabla no. 54. Costos indirectos para la elaboración del bioplástico	97
Tabla no. 55. Costo total por gramo de elaboración a escala laboratorio.....	97
Tabla no. 56. Precios de plástico comercial y resina biodegradable por gramo	98
Tabla no. 57. Ficha de seguridad del alginato de sodio	100
Tabla no. 58. Ficha de seguridad del bicarbonato de sodio	101
Tabla no. 59. Ficha de seguridad del metabisulfito de sodio.....	102

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo muestra una propuesta para la síntesis de una película polimérica biodegradable utilizando cáscara de sandía como materia prima, para lo cual se realizaron diferentes formulaciones utilizando pasta de cáscara de sandía, glicerina, alginato de sodio y agua. Se seleccionó como formulación óptima aquella que presentó propiedades cualitativas similares a las del plástico disponible comercialmente, ya que el objetivo principal es que pueda ser utilizado como sustituto para el plástico convencional. A partir de la formulación óptima seleccionada se obtuvo un bioplástico que era más rígido y menos elástico que el plástico convencional, pero que puede soportar casi 100 veces su propio peso antes de romperse. Se determinó que el bioplástico sintetizado es susceptible a degradarse en presencia de humedad debido a sus enlaces altamente hidrolizables y en las pruebas de campo, se determinó para que se degrade completamente en la tierra el polímero requiere aproximadamente 65 días, y en medio acuoso requiere aproximadamente 44 días.

Tomando en consideración sus propiedades y al compararlas con plástico convencional disponible comercialmente se determinó que, funcionalmente, el bioplástico sintetizado a partir de cáscara de sandía puede utilizarse como materia prima para la elaboración de películas poliméricas para la producción de bolsas plásticas.

I. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente ha ido en aumento durante años recientes, lo que ha provocado que se busquen alternativas para diversos productos de uso cotidiano, entre ellos, el plástico. El embalaje de plástico, en su mayoría, es un producto de un solo uso, y se vuelve un problema alarmante cuando la eliminación no se realiza correctamente y termina en grandes cantidades en diversos cuerpos de agua, afectando así al ecosistema. Además, el plástico contiene diversos productos químicos que hacen que algunos investigadores planteen preocupaciones sobre los posibles efectos adversos sobre la salud humana y, por supuesto, el medio ambiente. (Pradhan, 2014)

Debido a esto, durante la última década, los bioplásticos han establecido su lugar como una industria en rápido crecimiento, presentando un campo prometedor para los inversores y el medio ambiente. Según el “Informe de análisis de tamaño, participación y tendencias del mercado de bioplásticos por producto (biodegradable, no biodegradable), por aplicación (embalaje, automotriz y transporte, textil), por región y pronósticos de segmento, 2020 - 2027”, en el 2019 se valoró en 8.3 mil millones de dólares el mercado mundial de bioplásticos y se espera que estos tengan una tasa de crecimiento anual compuesta del 16,1% entre 2020 y 2027. Adicionalmente, los desechos de frutas y hortalizas presentan diferentes características y propiedades que los vuelven materias primas prometedoras para la producción de películas bioplásticas. (Bátori, 2019)

La sandía es una materia prima fácil de conseguir, ya que es una de las frutas con mayor consumo en Guatemala, y su contenido de celulosa puede ser aprovechado para la elaboración de bioplástico. Siendo una de las frutas con mayor cantidad de cáscara, se pueden aprovechar los residuos orgánicos de estas para darle un uso alternativo que a su vez es una tecnología innovadora, competitiva y amigable con el medio ambiente. Es por esto, que el presente trabajo de investigación busca determinar si puede utilizarse cáscara de sandía como materia prima para la producción de una película bioplástica y determinar sus características para su aplicación como material de empaque, comparándolo con materiales de empaque utilizados comercialmente.

1.1. Lo escrito sobre el tema

Mattoso (2015) realizaron un estudio en Brasil sobre Bioplásticos compuestos de puré de frutas, en el que se desarrollaron películas comestibles a base de maracuyá, guayaba roja y sandía utilizando un enfoque de fundición a escala piloto, utilizando pectina y glicerol como componente espesante y plastificante, respectivamente. Se determinó que las películas tienen una rápida solubilidad en agua y que las propiedades de tracción de las películas a base de puré de frutas dependen de la humedad relativa. El estudio concluyó que los comportamientos descritos se pueden utilizar para guiar la aplicación de estos bioplásticos comestibles en varios sectores de envasado de alimentos.

Yaradoddi (2016) en su trabajo de investigación sobre la Producción de plástico biodegradable a partir de materiales de desecho de frutas y su uso sostenible para aplicaciones verdes, llevado a cabo en India, realizó la síntesis de bioplástico utilizando residuos de frutas, principalmente cáscara de banano. El polímero producido, usando la cáscara de banano mezclada con el glicerol, ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, se sometió a pruebas de biodegradabilidad, solubilidad e hinchamiento para asegurar las propiedades del bioplástico. Se determinó que el material bioplástico sintetizado cumple con las propiedades necesarias para su uso comercial.

Gaonkar, Palaskar y Navandar (2017) en su artículo titulado *Producción de bioplástico a partir de cáscara de banano*, utilizaron una pasta preparada con cáscara de banano, agregando glicerol como plastificante que aumenta su flexibilidad y utilizando metabisulfito de sodio para prevenir el crecimiento de bacterias y hongos. El estudio, realizado en la escuela de ingeniería Jawaharlal Nehru en Aurangabad, determinó que el bioplástico elaborado a partir de cáscaras de banano se puede utilizar como material de embalaje o como bolsa de transporte y que la degradación del bioplástico comienza después de 3 a 4 meses a partir de la fecha de fabricación.

Lama (2018) realizó una investigación sobre la elaboración de bioplástico aprovechando la pectina presente en la cáscara de naranja valencia (*Citrusxsinensis*) reforzado con almidón de yuca a nivel de laboratorio. La investigación se llevó a cabo en dos procesos:

la obtención de la pectina a partir de la cáscara de naranja y la elaboración del bioplástico mezclando pectina, almidón de yuca, glicerina, agua y ácido acético. En esta investigación se determinó que una de las formulaciones desarrolladas generó un material útil para aplicaciones industriales, como la fabricación de materiales de empaque.

Cardona (2019), realizó su trabajo de graduación sobre la elaboración de bioplástico con residuos orgánicos a base de cáscara de mango, naranja o plátano verde para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos. El estudio, realizado en la ciudad de Guatemala, determinó que el residuo orgánico más eficiente para elaborar bioplástico es la cascara de mango, utilizando como aditivos glicerina, almidón de maíz y vinagre, debido a que cuenta con características cualitativas y físicas apropiadas. Además, se hicieron pruebas de degradabilidad a la intemperie, al sol y en agua donde se determinó que la mayor degradación del bioplástico se dio en las muestras expuestas a la intemperie.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Plásticos

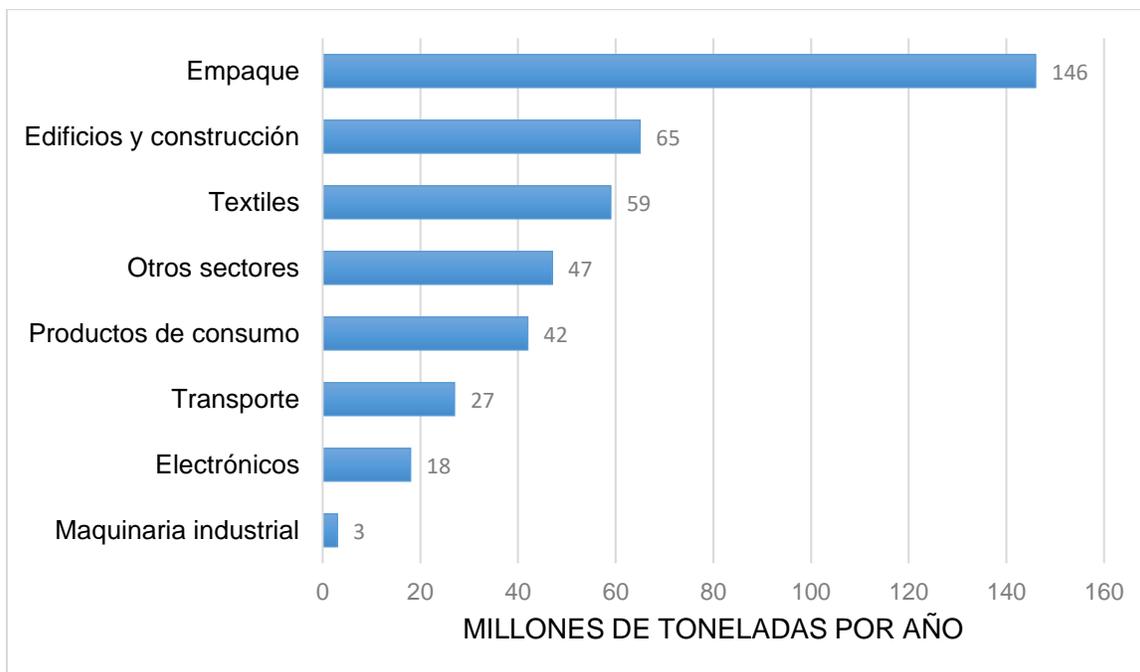
➤ Definición de plástico

McMurry (2001) define los polímeros como compuestos de alto peso molecular obtenidos por unión repetida de moléculas simples. Las unidades estructurales repetidas se derivan de algunas moléculas simples y reactivas conocidas como monómeros y están unidas entre sí por enlaces covalentes. Este proceso de formación de polímeros a partir de los respectivos monómeros se denomina polimerización. La Unión internacional para la conservación de la naturaleza (2018) define el plástico como un polímero orgánico sintético elaborado a partir del petróleo, el cuál posee propiedades ideales para ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, que incluyen embalaje, edificación y construcción, equipamiento doméstico y deportivo, vehículos, electrónica y agricultura. Este es barato, liviano, fuerte y maleable.

➤ Industria de plásticos

Cada año se producen más de 300 millones de toneladas de plástico, la mitad de las cuales se utiliza para diseñar artículos de un solo uso, como bolsas, vasos y pajillas. La figura no. 1 muestra la distribución de la producción de plástico por sector en el año 2015.

Figura no. 1. Producción de plásticos por sector, 2015.

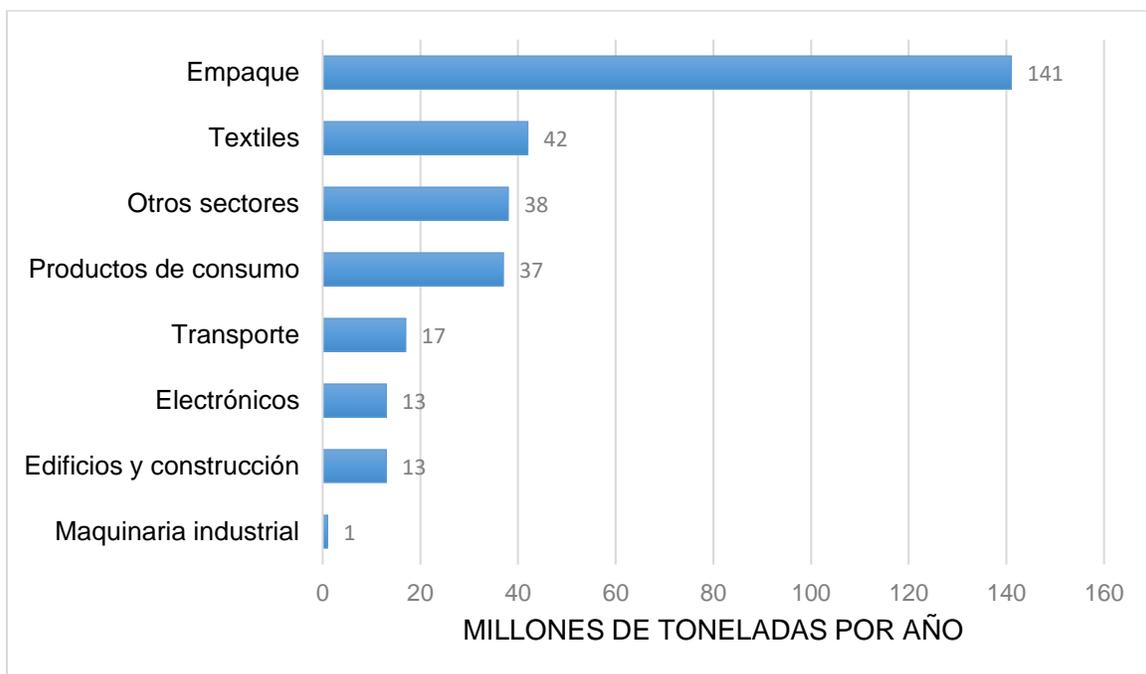


Fuente: Geyer, Jambeck & Law (2017)

Es importante mencionar que estos datos corresponden al año 2015 y se estima que la producción de plásticos aumenta aproximadamente entre 2 y 3% por año (Plastics Europe, 2019). En la gráfica se puede observar que el sector de empaque fue el dominante, siendo responsable del 42% de la producción de plásticos. La edificación y la construcción fue el segundo sector más grande, que utilizó 19% del total. El uso de plásticos está muy extendido, lo cual se debe principalmente a las favorables propiedades térmicas y mecánicas de los plásticos que lo convierten en un material estable y duradero. El amplio uso mundial de plásticos ha contribuido en gran medida a la contaminación ambiental, ya que los plásticos no siempre se desechan o reciclan correctamente y, en consecuencia, persisten en el medio ambiente. Los procesos de fabricación necesarios para producir plástico también crean grandes cantidades de contaminantes químicos.

Sin embargo, es importante mencionar que la producción de plástico no refleja directamente la generación de residuos plásticos, ya que esto también está influenciado por el tipo de polímero y la vida útil del producto final. Los envases, por ejemplo, tienen una vida útil muy corta (normalmente alrededor de 6 meses o menos). Esto contrasta con la edificación y la construcción, donde el uso de plástico tiene una vida útil media de 35 años. La figura no. 2. muestra los sectores en términos de generación de residuos plásticos.

Figura no. 2. Generación de residuos plásticos por sector, 2015.



Fuente: Geyer, Jambeck & Law (2017)

Se puede observar que el sector de empaque es el principal generador de residuos plásticos, responsable de casi la mitad del total mundial. Geyer, Jambeck & Law (2017) indican que, en el año 2015, la producción de plásticos primarios fue de 407 millones de toneladas, de las cuales alrededor de tres cuartas partes (302 millones de toneladas) terminaron como desperdicio.

➤ Impacto ambiental de plásticos

Según la Unión internacional para la conservación de la naturaleza (2018), al menos 8 millones de toneladas de plástico terminan en océanos cada año. Actualmente, los desechos plásticos son los elementos más abundantes de basura marina ya que constituyen el 80% de todos los desechos marinos, desde las aguas superficiales hasta los sedimentos de aguas profundas. Se ha detectado plástico en las costas de todos los continentes, y se han encontrado más materiales plásticos cerca de destinos turísticos populares y áreas densamente pobladas.

Las fuentes de plástico marino varían, desde desagües urbanos, desbordes de alcantarillado, visitantes de la playa, gestión y eliminación inadecuada de desechos, actividades industriales, construcción y vertidos ilegales. Bajo la influencia de la radiación solar UV, el viento, las corrientes y otros factores naturales, el plástico se fragmenta en pequeñas partículas, denominadas microplásticos (partículas menores de 5 mm) o nanoplásticos (partículas menores de 100 nm). La contaminación plástica es el problema más extendido que afecta al medio marino. También amenaza la salud de los océanos, la seguridad y calidad de los alimentos, la salud humana, el turismo costero y contribuye al cambio climático.

- i. Impacto al medio marino: la ingestión, asfixia y enredo de cientos de especies marinas. Los plásticos flotantes también contribuyen a la propagación de bacterias y organismos marinos invasores, que alteran los ecosistemas.
- ii. Impacto en la alimentación y la salud: se ha detectado la presencia de residuos plásticos en agua del grifo, cerveza, sal y está presente en todas las muestras recolectadas en los océanos del mundo. Los contaminantes tóxicos también se acumulan en la superficie de los materiales plásticos como resultado de la exposición prolongada al agua de mar. Cuando los organismos marinos ingieren desechos plásticos, estos contaminantes ingresan a sus sistemas digestivos y el tiempo extra se acumula en la red alimentaria. La transferencia de contaminantes entre especies marinas y humanos a través del consumo de mariscos se ha

identificado como un peligro para la salud, pero aún no se ha investigado adecuadamente.

- iii. Impacto sobre el cambio climático: si los desechos plásticos se incineran, liberan dióxido de carbono a la atmósfera, lo que aumenta las emisiones de carbono contribuyendo al calentamiento global.
- iv. Impacto en el turismo: los residuos plásticos dañan el valor estético de los destinos turísticos, provocando una disminución de los ingresos relacionados con el turismo y mayores costos económicos relacionados con la limpieza y el mantenimiento de los sitios.

Debido a los múltiples sectores que se ven afectados por el uso de plásticos, en los últimos años ha habido un cambio en la opinión pública, y las personas se han vuelto más conscientes ecológicamente. El cambio en la opinión pública y la influencia política, combinado con el aumento del precio del petróleo, ha llevado a las industrias a investigar alternativas biodegradables al plástico, que no se fabrican con métodos petroquímicos. Los materiales producidos a partir de polímeros sintéticos se utilizan ampliamente para una amplia gama de aplicaciones en la sociedad moderna. La producción de alternativas biodegradables con mayor compatibilidad en el medio ambiente es necesaria si las aplicaciones continúan creciendo. (Pradhan, 2014)

1.2.2. Métodos de elaboración de películas poliméricas

Contreras, Vargas y Ríos (2018) indican que la técnica de vaciado en placa, o “casting”, y la técnica de extrusión por soplado son los principales procesos utilizados industrialmente para hacer películas a partir de polímeros termoplásticos.

La técnica de vaciado en placa generalmente implica verter una resina líquida en un molde, usando la gravedad para llenar la cavidad y permitiendo que el polímero se endurezca. La película se prepara vertiendo en una banda el polímero fundido, la cual se mueve mediante un rodillo que permite un enfriamiento controlado. La velocidad del

rodillo es lo que determina el espesor de la película. En este proceso la temperatura de fusión es más alta que en el proceso de película soplada, lo cual hace que la película tenga mejores propiedades ópticas.

Las películas sopladas pueden usarse en forma de tubo (para bolsas y sacos de plástico, por ejemplo) o el tubo se puede cortar para formar una hoja. Este proceso comienza con la extrusión de plástico fundido a través de una matriz de ranura anular, generalmente verticalmente, para formar un tubo de pared delgada. El aire se introduce a través de un orificio en el centro para inflar el tubo como un globo. Montado en la parte superior del dado, un anillo de aire de alta velocidad sopla sobre la película caliente para enfriarla. La película continúa hacia arriba enfriándose continuamente, hasta que pasa a través de los rodillos de presión donde el tubo se aplanará para crear un tubo de película plano. Este tubo aplanado se vuelve a bajar por la torre de extrusión a través de más rodillos. La película plana puede mantenerse como tal o los bordes se cortan para producir dos hojas de película plana y se enrollan en bobinas. Si se mantiene como tubo, este se convierte en bolsas sellando a lo ancho de la película y cortando o perforando para hacer cada bolsa. (Manufacturing Engineering, s.f.)

Estas técnicas pueden ser utilizadas con la mayoría de los polímeros biodegradables, aunque a menudo son necesarias modificaciones y la productividad puede no ser tan alta como los termoplásticos convencionales. La diferencia de propiedades entre las películas elaboradas a se debe en gran parte a las diferencias de cristalización. La película elaborada por vaciado en placa tiene un enfriamiento rápido por lo que tiene menos cristales y más pequeños que la película soplada de enfriamiento lento relativo. (Rutiaga, 2002)

1.2.3. Biodegradabilidad de polímeros

➤ Biodegradación

La degradación biológica, o biodegradación, es el proceso natural y complejo de descomposición facilitado por mecanismos bioquímicos. Se puede definir como la

capacidad intrínseca de un material para ser degradado por la acción de microorganismos como bacterias, hongos y protozoos. La biodegradación puede ocurrir de forma aeróbica o anaeróbica. En condiciones aeróbicas, el oxígeno ayuda a romper las moléculas y las sustancias se descomponen mucho más rápido. Para algunos materiales, la descomposición comienza a ser visible en cuestión de horas y en algunos casos puede tardar años en hacerse visible. Los materiales que utilizan plantas o animales como materia prima suelen tener una alta tasa de biodegradabilidad ya que los microorganismos presentes en la tierra son capaces de descomponer estos materiales en un entorno natural. (Ashter, 2016) La tabla no. 1 muestra cuanto tiempo requieren algunos objetos comunes en descomponerse cuando se dejan en el ambiente.

Tabla no. 1 Tiempos de descomposición

Objeto	Tiempo para descomponerse
Vegetales	Entre 5 días y 1 mes
Papel	Entre 2 y 5 meses
Cáscara de naranja	6 meses
Hojas de árboles	1 año
Cartón de leche de papel plastificado	5 años
Calzado de cuero	Entre 25 y 40 años
Tela de nylon	Entre 30 y 40 años
Latas de aluminio	Entre 80 y 100 años
Bolsa de plástico	Más de 100 años
Vaso de poliestireno	Más de 100 años
Botella de vidrio	Más de 1000 años

Fuente: Ashter (2016)

Según Calmon-Decriaud, Bellon-Maurel y Silvestre (1998) hay dos definiciones para biodegradabilidad según el destino de los polímeros:

- Biodegradabilidad primaria: (o biodegradabilidad parcial) es la alteración de la estructura química. Da como resultado una pérdida de las propiedades específicas del polímero. Es importante medirlo para polímeros utilizados en aplicaciones duraderas.
- La máxima biodegradabilidad (o biodegradabilidad total) se ocupa de la mineralización total: el material es totalmente degradado por microorganismos con producción de dióxido de carbono (en condiciones aeróbicas), agua, sales minerales y nuevos componentes celulares microbianos (biomasa).

➤ Factores que afectan la biodegradación

Existen dos factores que afectan la tasa de biodegradación del polímero, que son:

- i. Condiciones de exposición: un polímero biodegradable puede encontrarse con una amplia variedad de entornos al finalizar su vida útil, los cuales pueden diferir en sus factores físicos (temperatura, estructura mineral), químicos (pH, nutrientes, oxígeno, contenido de humedad) y biológicos (microorganismos, enzimas). Moore y Saunders (1997) explican que el efecto que los factores físicos y químicos tienen sobre la biodegradabilidad es indirecto, ya que el efecto que estos tienen es sobre las poblaciones microbianas del medio ambiente. La utilización del polímero por microorganismos diversos y sus enzimas es la causa de la biodegradación. El efecto ambiental sobre la biodegradación es extremadamente significativo ya que pequeños cambios en el ambiente pueden crear tasas de biodegradación totalmente diferentes. La diversidad de ambientes naturales es inmensa y por lo tanto es muy difícil medir la tasa de biodegradabilidad de un polímero. En un entorno, un polímero puede degradarse rápidamente, pero en otro no puede observarse biodegradación.

- ii. Características del polímero: cuando se desarrollan materiales biodegradables, el objetivo debe ser establecer propiedades que hagan que el polímero sea más susceptible a los factores ambientales; más específicamente, que los enlaces químicos de los polímeros sean susceptibles de hidrólisis u oxidación. Algunas características relevantes son estructura química, morfología y peso molecular. Por ejemplo, Moore y Saunders (1997) explican que se ha observado que los polímeros de alto peso molecular son extremadamente duraderos y los polímeros con superficies más rugosas son más susceptibles al ataque microbiano, probablemente debido a la capacidad de las enzimas para ligarse a la superficie.

➤ Estándares de biodegradabilidad

Según la norma europea EN 13432-2000, existen diferentes medios para analizar la biodegradabilidad. Estos medios pueden ser líquidos, inertes o compostables. Diferentes estándares utilizan diferentes condiciones para determinar el nivel de biodegradabilidad. La Tabla no. 3 muestra la terminología de biodegradación publicada por organizaciones y estándares internacionales.

Tabla no. 2. Nomenclatura de Estándares

Estándar	Descripción
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung)
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
CEN	Comité Europeo de Normalización

Fuente: Ashter (2016)

Tabla no. 3. Terminología de Biodegradabilidad Utilizada en Estándares

Estándar	Descripción
DIN	Un material plástico se llama biodegradable si todos sus compuestos orgánicos se someten a un proceso de biodegradación completo. Las condiciones ambientales y las tasas de biodegradación se determinarán mediante métodos de prueba estandarizados.
ASTM subcomité D20-96	Un plástico degradable en el que la degradación resulta de la acción de microorganismos naturales como bacterias, hongos y algas.
Asociación japonesa de bioplásticos	Materiales poliméricos que se transforman en compuestos de menor peso molecular donde al menos un paso en el proceso de degradación es a través del metabolismo en presencia de organismos naturales.
ISO 472	Un plástico diseñado para experimentar un cambio significativo en su estructura química en condiciones ambientales específicas que resulta en la pérdida de algunas propiedades que pueden variar según los métodos de prueba estándar medidos apropiados para el plástico y la aplicación en un período de tiempo que determina su clasificación. El cambio en la estructura química es el resultado de la acción de microorganismos naturales.
CEN	Un material degradable en el que la degradación resulta de la acción de microorganismos y, en última instancia, el material se convierte en agua, dióxido de carbono y / o metano, una nueva biomasa celular

Fuente: Ashter (2016)

En general, los requisitos de las normas internacionales para la biodegradación completa de un polímero en condiciones de descomposición son los siguientes:

- i. Conversión a dióxido de carbono, agua y biomasa: lo que se logra a través de la asimilación microbiana del polímero en forma de polvo, película o gránulos.
- ii. Conversión a dióxido de carbono: 90% del carbono en el polímero debe convertirse a dióxido de carbono.
- iii. Tasa de biodegradación: debe ser la misma que los materiales naturales.
- iv. Tiempo: 180 días o menos.

Además, hay otros dos requisitos más que son importantes:

- v. Desintegración: menos del 10% del material de prueba en un tamiz de 2 mm usando el material de polímero de prueba en la forma y grosor idénticos al uso final previsto del producto de acuerdo con las normas ISO, ISO 16929 e ISO 20200.
- vi. Seguridad: el compost resultante no debería tener impactos en las plantas, utilizando la guía de la OCDE.

➤ Pruebas de biodegradabilidad

Existen pruebas estándar que pueden medir el mecanismo del proceso de biodegradación a través de la acción enzimática de los microorganismos a lo largo del tiempo. Ashter (2016) establece que las pruebas de biodegradabilidad se pueden subdividir en tres categorías:

- Pruebas de laboratorio: es una herramienta analítica para evaluar la biodegradabilidad de un material en laboratorio. Proporcionan datos de un entorno sintético y las pruebas se realizan en condiciones definidas.

- Pruebas de simulación: se realizan creando un entorno artificial para imitar un entorno biodegradable natural. En estas se utilizan agua, tierra y material de compost para que el material se descomponga como si estuviera en un entorno natural. Este proceso funciona para obtener datos de un entorno complejo con condiciones definidas.
- Pruebas de campo: son las más relevantes ya que se realizan en un sitio de prueba en la naturaleza. Estas pruebas funcionan para obtener datos de un entorno complejo y con condiciones variables.

La Tabla no. 4 muestra algunas pruebas realizadas por diferentes organizaciones estándar.

Tabla no. 4. Métodos de Prueba de Diferentes Estándares

ASTM	ISO	OECD
E1720	ISO 9439	301A
D5210	ISO 14593	301B
D5338	ISO 14852	301C
D5511	ISO 14855	301D
D5864	ISO 15985	301E
D5988		301F
D6400		310
D6954		311

Fuente: Ashter (2016)

Estas pruebas pueden medir el proceso de biodegradación a través de la acción de microorganismos a lo largo del tiempo y, con esto, se pueden determinar las condiciones de eliminación disponibles. En esencia, estas pruebas se utilizan para predecir la biodegradabilidad de un material de prueba en su entorno natural. Cuanto mejor sea el

nivel de simulación, más precisa será la predicción y, posteriormente, seleccione el tipo de prueba a realizar. (Ashter, 2016)

1.2.4. Generalidades de polímeros biodegradables

➤ Tipos de polímeros biodegradables

Según Bastioli & Bettarini (2020), los polímeros biodegradables más importantes comercialmente se pueden dividir en tres familias:

- Polímeros biodegradables naturales no modificados.
- Polímeros sintéticos biodegradables, principalmente poliésteres.
- Polímeros biodegradables naturales modificados con aditivos.

Los polímeros biodegradables naturales se producen en la naturaleza, por lo que siempre son renovables. Algunos polímeros sintéticos biodegradables también son renovables cuando se producen a partir de materias primas renovables, como el ácido poli láctico (PLA) que es derivado de fuentes agrícolas. Los polímeros biodegradables naturales modificados pueden ser total o parcialmente renovables, dependiendo del agente modificador utilizado.

▪ Polímeros naturales

Las macromoléculas naturales que contienen enlaces hidrolizables, como proteínas o polisacáridos (como la celulosa y el almidón), son generalmente susceptibles a ser biodegradables en medios acuosos debido a la acción de las enzimas hidrolíticas de los microorganismos. El carácter hidrofílico o hidrofóbico de los polímeros naturales afecta en gran medida su biodegradabilidad, así como su rendimiento y durabilidad en condiciones húmedas. Sin considerar las fibras naturales como la lana y la seda, los polisacáridos como el almidón y la celulosa son los principales polímeros biodegradables naturales en el uso comercial. (Bastioli & Bettarini, 2020)

- Polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos biodegradables son producidos a partir de monómeros renovables de origen natural o de monómeros de origen petroquímico. Las reacciones involucradas en su biodegradación son las mismas que para los polímeros naturales, es decir, las transformaciones catalizadas por enzimas que ocurren en medios acuosos. Los poliésteres con enlaces fácilmente hidrolizables a lo largo de la cadena representan la familia principal esta familia polimérica.

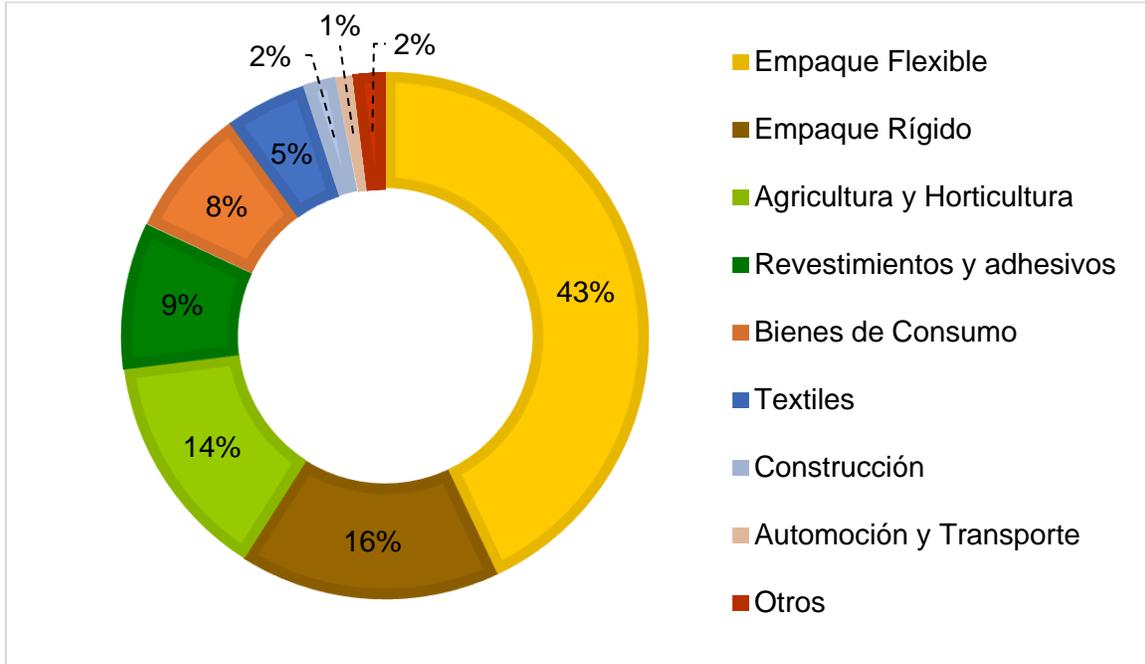
- Polímeros modificados

Estos son polímeros sintéticos con funciones hidrolizables o polímeros con esqueletos de carbono a los cuales se agregan aditivos como antioxidantes o bien son mezclas de biopolímeros o polímeros biodegradables para mejorar sus propiedades intrínsecas. Su secuencia de biodegradación consiste en que primero los microorganismos consumen las unidades del polisacárido, un proceso que debilita la matriz polimérica, para que las cadenas del polímero sintético puedan descomponerse en fragmentos más pequeños que son lo suficientemente pequeños como para ser asimilados por microorganismos. (Vroman & Tighzert, 2009)

- Aplicaciones de Bioplásticos

En la actualidad, los bioplásticos se utilizan en una diversa cantidad de mercados, desde envases, productos de restauración y bienes de consumo hasta automoción, agricultura y textiles. La figura no. 3 muestra el porcentaje que cada segmento del mercado tuvo en la industria de bioplásticos en el año 2019.

Figura no. 3. Segmentación del mercado de bioplásticos en el 2019.



Fuente: European Bioplastics (2019)

- Empaque

El mercado de empaque es el mayor campo de aplicación para bioplásticos y el que lideró el mercado en 2019. La creciente utilización de bioplásticos para producir bolsas para compost, láminas agrícolas, productos hortícolas, productos de vivero, juguetes y textiles es el factor clave responsable del crecimiento del segmento. Además, los bioplásticos se utilizan para producir vasos, tazones, platos y envases de alimentos desechables. El desarrollo de bioplásticos de calidad alimentaria ha mejorado la vida útil de los productos alimenticios, lo que impulsa su demanda, impulsando así el crecimiento del segmento. Además, la mayoría de los productos de embalaje se producen actualmente a partir de plásticos convencionales y terminan en vertederos, lo cual es una situación que varios gobiernos tienen la intención de abordar. (European Bioplastics, 2019)

➤ Mercado actual de Bioplásticos

Actualmente, los bioplásticos representan aproximadamente el uno por ciento de los más de 359 millones de toneladas de plástico producidas anualmente. (European Bioplastics, 2019) Pero a medida que aumenta la demanda, y con la aparición de biopolímeros, aplicaciones y productos más sofisticados, el mercado de bioplásticos crece y se diversifica continuamente. Según el “Informe de análisis de tamaño, participación y tendencias del mercado de bioplásticos por producto (biodegradable, no biodegradable), por aplicación (embalaje, automotriz y transporte, textil), por región y pronósticos de segmento, 2020 - 2027”, el tamaño del mercado mundial de bioplásticos se valoró en 8.3 mil millones de dólares en 2019 y se espera que registre una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 16.1% entre 2020 y 2027. Además, según los últimos datos de mercado recopilados por European Bioplastics (2019) en cooperación con el instituto de investigación nova-Institute, la capacidad de producción mundial de bioplásticos aumentará a aproximadamente 2,43 millones de toneladas en 2024. En 2019, la capacidad de producción mundial de bioplásticos ascendió a alrededor de 2,11 millones de toneladas, con casi el 53% (1,14 millones de toneladas) del volumen destinado al mercado de envases, el segmento de mercado más grande dentro de la industria de los bioplásticos.

Las crecientes inversiones en investigación y desarrollo en el sector de bioplásticos por parte de organizaciones privadas y públicas probablemente respaldarán el crecimiento del mercado. Además, se anticipan iniciativas como la decisión de la UE de minimizar la producción total y el consumo de productos plásticos de un solo uso en aproximadamente un 80% para 2022, para impulsar el crecimiento del mercado. Se espera que las estrictas regulaciones relativas a la prohibición del plástico de un solo uso en regiones como Europa, América del Norte y Asia impulsen el crecimiento de este segmento.

1.2.5. Elaboración de bioplásticos a partir de desechos de frutas y vegetales

El desarrollo de bioplásticos utilizando materias primas secundarias (residuos biológicos) en lugar de materia prima obtenida de cultivos dedicados tiene potencial para el desarrollo de la industria de los bioplásticos. El uso de residuos biológicos como materia prima tiene múltiples ventajas, por ejemplo, la reducción del uso de la tierra, fertilizantes y agua, lo cual también ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Acquavia, Pascale, Martelli, Bondoni, & Bianco (2021) dice que la extracción de biopolímeros de los desechos alimentarios puede llevarse a cabo de forma química o enzimática. Los procesos enzimáticos se consideran generalmente "limpios", ya que no contienen disolventes. Sin embargo, esta tecnología todavía se ve obstaculizada por límites económicos y técnicos. Las enzimas son costosas y requieren un largo período de procesamiento. Debido al alto costo y la naturaleza lenta, la producción de bioplásticos a través de la fermentación bacteriana del azúcar, que ocurre en los desechos agrícolas, es desventajosa. Por lo tanto, la extracción química con solventes podría considerarse como la mejor solución con la menor cantidad de energía.

Los biopolímeros extraídos de los desechos de frutas y hortalizas presentan diferentes características y propiedades que los hace aptos para la producción de materiales ecológicos. Bátori (2019) explica que la producción de biopelículas a partir de residuos de polisacáridos de las industrias de frutas y hortalizas se ha vuelto tendencia en la investigación sobre la producción de bioplásticos a partir de materias primas secundarias. La mezcla de componentes de diversas fuentes de subproductos industriales de frutas y hortalizas, como pectina, almidón, revestimiento, celulosa y hemicelulosas, hace que estas materias primas lignocelulósicas sean interesantes y prometedoras para la producción de películas bioplásticas. La tabla no. 5 muestra las propiedades asociadas a los principales biopolímeros extraídos de residuos de frutas y vegetales en la producción de bioplásticos.

Tabla no. 5. Propiedades de polímeros extraídos de residuos de frutas y vegetales

Componente	Tipo de biopolímero	Propiedades	Desechos utilizados
Celulosa	Polisacárido	Red de enlaces de hidrógeno intermolecular altamente estructurada, imposibilidad de fusión o disolución mediante procesos estándar como el termoformado	Cáscara de plátano, cacao y naranja, residuos de zanahorias, coliflor y hojas de te
Almidón	Polisacárido	Fuerte enlace de hidrógeno inter e intramolecular, sensibilidad al agua y escasa fluidez, fragilidad.	Cáscara de plátano, mandioca y papa
Pectina	Polisacárido	Capacidad gelificante, pero malas propiedades de tensión y barrera, sensibilidad al agua	Cáscara de plátano y naranja, residuos de cítricos
Cutina	Poliéster de hidroxiácidos grasos	Polímero tridimensional amorfo y flexible, hidrofóbico, baja sensibilidad al agua	Residuos de tomate

Fuente: Acquavia et al. (2021)

1.2.6. Composición de la cáscara de sandía

La biomasa de la sandía puede ser clasificada en tres componentes principales, que son la pulpa, la cáscara y las semillas. La pulpa, según Award (2017), constituye aproximadamente el 68% del peso total de la sandía, la cáscara aproximadamente el 30% y las semillas el 2%. La composición de cada componente varía considerablemente. Singh, Kumar & Nandpuri (1975) determinaron que la piel de la sandía completamente

madura contiene aproximadamente 20% de celulosa, 23% de hemicelulosa, 10% de lignina, 13% de pectina, 7 mg / g de sílice y 12% de minerales libres de sílice.

1.2.7. Producción de sandía en Guatemala

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en condiciones normales, la sandía se siembra en los meses de enero hasta mayo y de octubre a diciembre, siendo su ciclo alto de cosecha de marzo a junio y de septiembre a diciembre. Además, los sectores más representativos de producción de sandía son Jutiapa, Zacapa y Santa Rosa y siendo el departamento de Guatemala el mayor consumidor.

La sandía es una de las frutas con mayor consumo en Guatemala, teniendo un 8.5% de la participación en el mercado según el informe realizado por CABI (2013). La tabla no. 6 muestra la serie histórica de precios de la sandía en el mercado La Terminal, Ciudad de Guatemala.

Tabla no. 6. Precio promedio anual, en quetzales, de sandía redonda, mediana, de primera, por ciento.

Año	Promedio Anual
2017	Q 751.76
2018	Q 830.87
2019	Q 886.66
2020 (hasta junio)	Q 749.99

Fuente: MAGA (2020)

1.2.8. Requerimientos para material de empaque de alimentos en Guatemala

Según el artículo 137 del código de salud de Guatemala, solamente se permite el uso de materiales de empaque que sean compatibles con los alimentos destinados a contener y que dichos materiales no deben provocar cambios en la composición y otras

características de los alimentos como resultados del envasado/interacción con los alimentos. Adicional a esto, el artículo 226 indica que utilizar envases o empaques que alteren negativamente la calidad de los productos alimenticios constituye un caso de infracción contra la prevención de la salud.

La norma COGUANOR NTG 53016 establece los requisitos que deben cumplir las películas de polietileno de baja densidad (de 910 kg/m^3 a 925 kg/m^3) para el empaque de alimentos. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2019)

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales fuentes de contaminación de la tierra son los productos plásticos. Sin embargo, los plásticos son demasiado útiles para ser eliminados. Tienen muchas propiedades ventajosas: son duraderos, livianos, fáciles de procesar y baratos de producir en masa. En la actualidad podemos ver el uso de plásticos convencionales en todos los rincones del mundo, pero su uso plantea serios problemas ambientales. El embalaje de plástico, en su mayoría, es un producto de un solo uso y contiene una mezcla de productos químicos que hace que los organismos vivos, en particular los organismos marinos, puedan verse afectados por enredos, asimilación directa de desechos plásticos o por contacto con sustancias químicas dentro de los plásticos y causar interrupciones en sus funciones biológicas. Debido al uso excesivo de aditivos químicos durante la producción de plásticos, los plásticos son potencialmente tóxicos y podrían resultar cancerígenos.

Debido a la durabilidad de los plásticos, resulta inevitable que se acumulen en los ecosistemas. Es por esto por lo que es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para reducir el uso y el mal uso de los plásticos de origen fósil. La inclusión de la gestión de plásticos biodegradables en estas estrategias podría abrir opciones de gestión de residuos al final de su vida útil para los bioplásticos, como el compostaje y la digestión anaeróbica.

Por lo tanto, hoy en día los científicos están buscando alternativas potenciales a los plásticos tradicionales derivados de fuentes petroquímicas. Los polímeros biodegradables y biocompatibles están ganando importancia en todo el mundo en los campos de la investigación tanto básica como aplicada, como las aplicaciones farmacológicas, biomédicas y medioambientales. La industria de bioplásticos que utiliza materias primas renovables es un sector sostenible y de rápido desarrollo, pero que no compite por el uso de la tierra con el cultivo de alimentos.

Existen diferentes tipos de bioplásticos disponibles, entre los que se encuentran los que se elaboran a base de celulosa. Para la elaboración de estos se utilizan desechos o

residuos orgánicos con contenido de celulosa, como la cáscara de plátano y naranja. Siguiendo esta metodología es posible evaluar como potencial aquellos materiales biodegradables que aún no han sido considerados para la elaboración de bioplásticos. Dado que Guatemala es un país eminentemente agrícola, se tiene la oportunidad de utilizar los desechos para ser empleados como un subproducto y aprovecharse en la industria de plásticos como alternativas naturales en la elaboración de bioplástico. La sandía es una materia prima fácil de conseguir, ya que es una de las frutas con mayor consumo en Guatemala. Siendo una de las frutas con mayor cantidad de cáscara por unidad, se pueden aprovechar los residuos orgánicos de estas para darle un uso alternativo. La cáscara de sandía contiene celulosa y pectina, polisacáridos que pueden ser aprovechados para la síntesis de un bioplástico que presente características adecuadas para poder ser utilizado como materia prima para la elaboración de bolsas plásticas.

Dada la problemática anterior, se plantea la pregunta ¿es posible utilizar cáscara de sandía para la síntesis de una película polimérica biodegradable?

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo General

Sintetizar una película polimérica biodegradable utilizando cáscara de sandía como materia prima.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la formulación óptima para la síntesis del polímero.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del polímero sintetizado.
- Determinar el tiempo de degradación del polímero sintetizado.
- Comparar las propiedades físicas, mecánicas y la biodegradabilidad del polímero sintetizado con plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente.
- Determinar el costo de producción del bioplástico sintetizado a nivel laboratorio y compararlo con plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente.

2.2. Hipótesis

En este estudio de investigación el trabajo no se presenta hipótesis debido a que no es un estudio experimental sino descriptivo según Arias y Caballeros, 3a. Ed. (2012) en el libro Guía para realizar el trabajo de graduación, Universidad Rafael Landívar.

2.3. Variables

2.3.1. Dependientes

- Rendimiento del bioplástico
- Propiedades físicas del bioplástico
 - Color

- Tamaño
- Espesor
- Propiedades mecánicas del bioplástico
 - Resistencia
- Degradabilidad del bioplástico
 - Degradabilidad en tierra
 - Degradabilidad en agua
- Costo de producción a nivel laboratorio del bioplástico

2.3.2. Independientes

- Formulación del bioplástico
 - Masa de cáscara de sandía utilizada
 - Masa de pectina utilizada
 - Masa de glicerina utilizada
 - Masa de agua utilizada

2.4. Definición de variables

2.4.1. Dependientes

- Rendimiento del bioplástico

Conceptual: proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados (RAE, 2021)

Operacional: relación entre la masa de la pasta de cáscara de sandía y el peso del bioplástico sintetizado.

➤ Resistencia del bioplástico

Conceptual: capacidad física que tiene un cuerpo de aguantar una fuerza de oposición por un tiempo determinado. (Callister, 2007)

Operacional: fuerza máxima que el bioplástico puede soportar antes de romperse.

➤ Degradabilidad del bioplástico

Conceptual: capacidad de una sustancia en descomponerse en compuestos o elementos menos complejos. (Rodríguez, 1995)

Operacional: tiempo que le toma al bioplástico sintetizado degradarse en la tierra y en medio acuoso.

➤ Costo de producción a nivel laboratorio del bioplástico

Conceptual: cantidad que se da o se paga por algo. (RAE, 2021)

Operacional: cálculo tomando en cuenta los costos directos de fabricación del bioplástico a escala laboratorio.

2.4.2. Independientes

➤ Formulación del bioplástico

Conceptual: combinación de diversos ingredientes químicos que conducen al desarrollo de un producto. (Universidad ICESI, 2021)

Operacional: porcentajes de los componentes utilizados para la síntesis del bioplástico.

2.5. Alcances y limitaciones

Este es un estudio de factibilidad técnica en la que se utilizará como base metodologías ya existentes para la elaboración de biopolímeros que utilizan como materia prima cáscara de naranja y plátano, haciendo las adecuaciones necesarias. Se seleccionó la sandía como materia prima debido a su contenido de celulosa y a la facilidad que se tiene para conseguir esta fruta en Guatemala. Se utilizó sandía redonda y ovalada proveniente de Escuintla y comprada en el mercado La Terminal en la zona 4 de la ciudad de Guatemala. Debido a la falta de estudios relacionados a la diferencia de composición entre las cáscaras de ambas sandías, se utilizaron las mismas formulaciones para ambos tipos de sandías.

Debido a las disposiciones que han permanecido en vigencia por la situación actual de COVID-19, no es posible utilizar al 100% las instalaciones de la universidad para la totalidad de la fase experimental. Es por esto por lo que se tuvieron que ajustar las metodologías inicialmente propuestas ya que no se pueden realizar pruebas con los estándares internacionales disponibles y se deben utilizar los recursos limitados que se tienen disponibles.

El polímero se elaborará en forma de película a nivel laboratorio. Debido al factor del tiempo, las pruebas de biodegradabilidad se llevarán a cabo únicamente con las formulaciones de bioplástico cuyas características se asemejen a películas de plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente. Las pruebas de biodegradabilidad se llevarán a cabo en las condiciones climáticas de la ciudad de Guatemala y se realizarán por un periodo de 30 días para las pruebas de campo. Las pruebas de campo únicamente tomarán en cuenta la pérdida de peso de la muestra a lo largo del tiempo para determinar la tasa de degradación del polímero. No se controlarán otras variables que puedan afectar la degradación del bioplástico como la humedad, temperatura, presión atmosférica o pH.

Tanto las pruebas mecánicas como las pruebas de campo de biodegradabilidad se realizarán por triplicado. Todo se realizará por triplicado para obtener resultados representativos y poder realizar un análisis estadístico. Conforme se aumentan las réplicas realizadas, se va cancelando el error aleatorio, haciendo válido el método.

Debido al factor del tiempo y recursos disponibles, se realizarán únicamente 3 réplicas para cada prueba, que es lo mínimo aceptable según el análisis químico cuantitativo y reglas generales de validez de metodología analítica. Para la comparación de datos, se utilizará la media aritmética de los datos obtenidos y se determinará la desviación estándar (medida de variabilidad) la cual permitirá establecer el grado de dispersión de los datos respecto a la media aritmética.

Este es un estudio de viabilidad técnica, por lo que no se realizará un estudio técnico-económico, de mercado, de factibilidad ni administrativo. Únicamente se realizará un costeo a nivel laboratorio con el fin de poder compararlo con plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente.

Para determinar si el polímero es adecuado para utilizarse como materia prima para la elaboración de bolsas plásticas se realizará una prueba comparativa utilizando el polímero sintetizado y plástico convencional. No se realizan pruebas con estándares internacionales debido a las limitantes con respecto a los recursos disponibles anteriormente mencionados.

2.6. Aporte

A la Universidad Rafael Landívar, como un precedente para futuras investigaciones para los estudiantes que deseen realizar estudios acerca de bioplásticos y su elaboración.

A la industria de plástico, como una alternativa para el plástico convencional derivado del petróleo.

A Guatemala y su ecosistema, proveyendo un sustituto que puede ayudar a disminuir la generación de residuos plásticos y mejorar las condiciones ambientales del país.

III. MÉTODO

3.1. Sujetos

- Lic. Ricardo Montoya: Encargado de los laboratorios de química de la Universidad Rafael Landívar. Proporcionó los reactivos necesarios para realizar la síntesis del bioplástico.
- Vendedores del mercado La Terminal: Ayudaron en la compra de materia prima, proporcionando información sobre el origen geográfico de la sandía comprada.

3.2. Unidades de análisis

- Código de Salud de Guatemala Artículo 137: establece los requisitos para que un material pueda ser utilizado como material de empaque para alimentos.
- Norma COGUANOR NTG 53016: establece los requisitos que deben cumplir las películas de polietileno de baja densidad (de 910 kg/m³ a 925 kg/m³) para el empaque de alimentos.

3.3. Instrumentos

Tabla no. 7. Equipo

Equipo	Uso	Imagen
Balanza electrónica	Pesaje de muestras y reactivos	
Plancha de calentamiento	Se utiliza durante la preparación y blanqueamiento de la cáscara de sandía.	
Horno	Síntesis del polímero.	
Licadora	Elaboración de la pasta de cáscara de sandía	
Analizador de Humedad	Caracterización del bioplástico sintetizado	

pH metro	Caracterización de la pasta para sintetización del bioplástico	
----------	--	---

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 8. Utensilios y cristalería

Utensilio/Cristalería	Uso	Imagen
Beaker - 50 mL - 150 mL - 2000 mL	Para el pesaje de reactivos.	
Espátula de metal	Para tomar las cantidades requeridas de reactivos	
Probeta - 100 mL - 1000 mL	Para medir diversos volúmenes	

Cuchillo	Para cortar la cáscara de sandía y los polímeros a analizar	
Varilla de agitación	Para mezclar las materias primas	
Bandeja	Para la síntesis de la película polimérica	
Vernier y metro	Para medir longitudes durante las pruebas de tensión	
Prensas	Para sostener las películas poliméricas durante las pruebas de tensión	

Cronómetro	Para medir tiempo durante las pruebas de tensión	
Termómetro	Para medir diversas temperaturas	

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 9. Reactivos

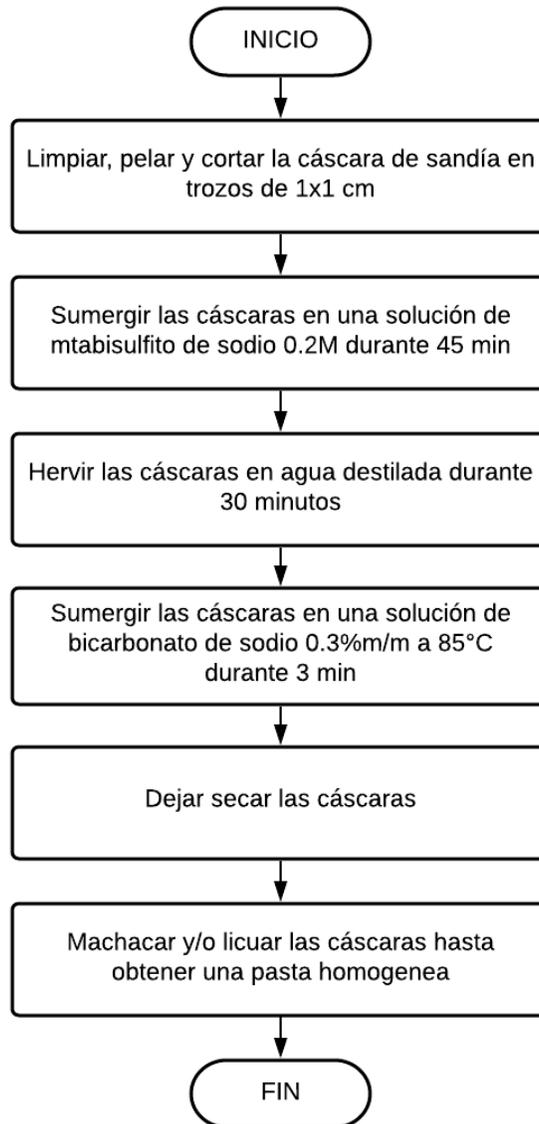
Reactivo	Uso
Metabisulfito de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	Preparación del polímero. Actúa como antioxidante y conservante.
Bicarbonato de sodio NaHCO_3	Blanqueamiento de las cáscaras de sandía.
Pectina	Preparación del polímero. Actúa como espesante.
Carbopol	Preparación del polímero. Actúa como espesante.
Alginato de Sodio	Preparación del polímero. Actúa como espesante.
Glicerina	Preparación del polímero. Actúa como plastificante.

Fuente: elaboración propia (2021)

3.4. Procedimiento

3.4.1. Preparación de la cáscara de sandía

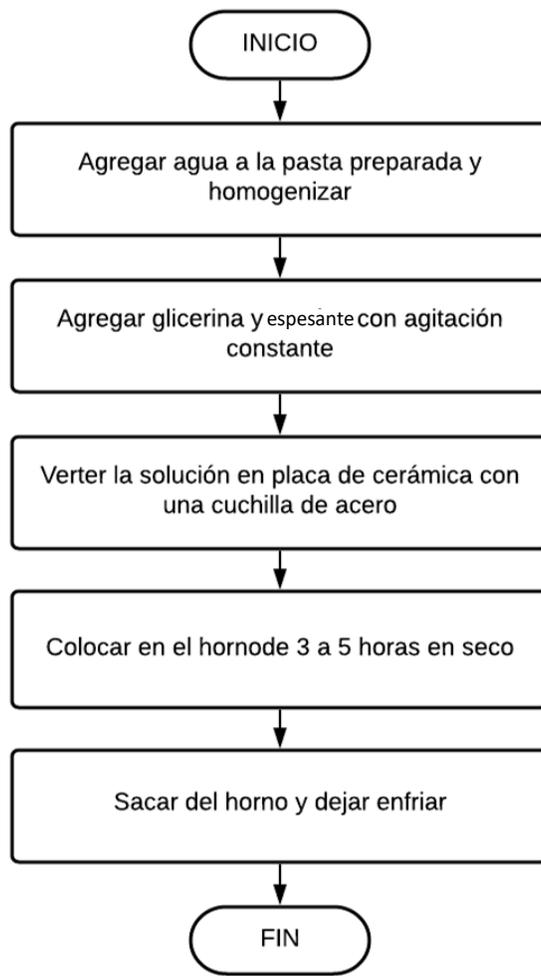
Figura no. 4. Diagrama de preparación de la cáscara de sandía



Fuente: elaboración propia (2021)

3.4.2. Síntesis del polímero

Figura no. 5. Diagrama para la síntesis del polímero



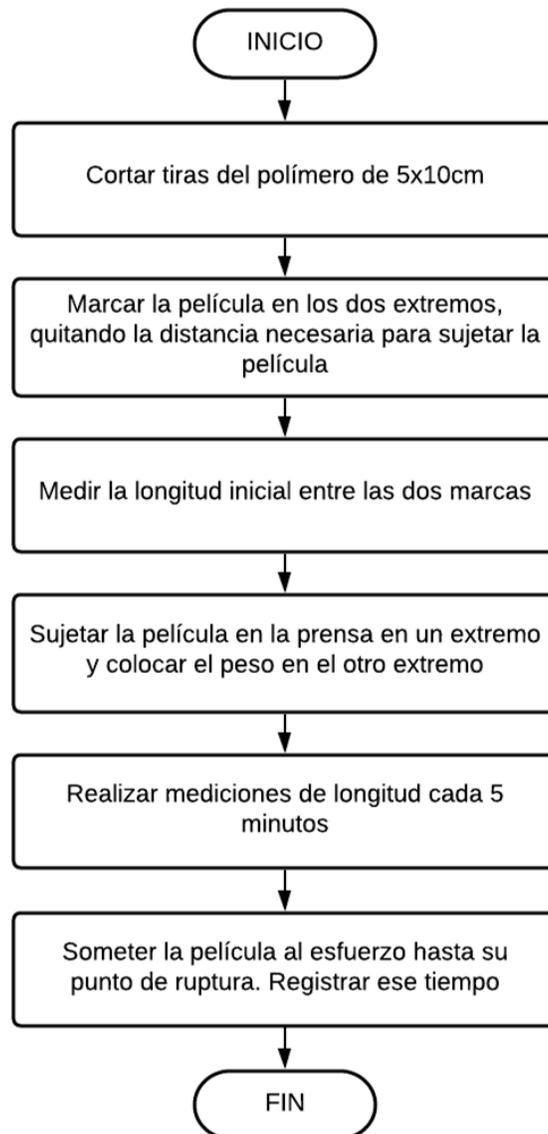
Fuente: elaboración propia (2021)

3.4.3. Determinación de la fuerza de tensión (propiedades mecánicas)

Estas se realizan la muestra del polímero óptimo sintetizado y para la película polimérica comercial como referencia.

➤ Prueba de fluencia lenta

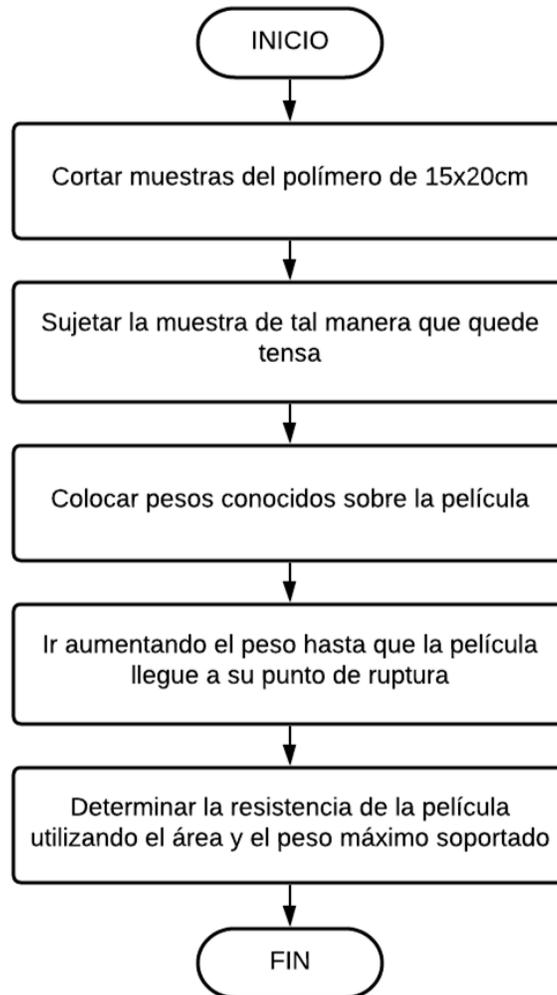
Figura no. 6. Diagrama para prueba de fluencia lenta



Fuente: elaboración propia (2021)

➤ Prueba de resistencia

Figura no. 7. Diagrama para prueba de resistencia

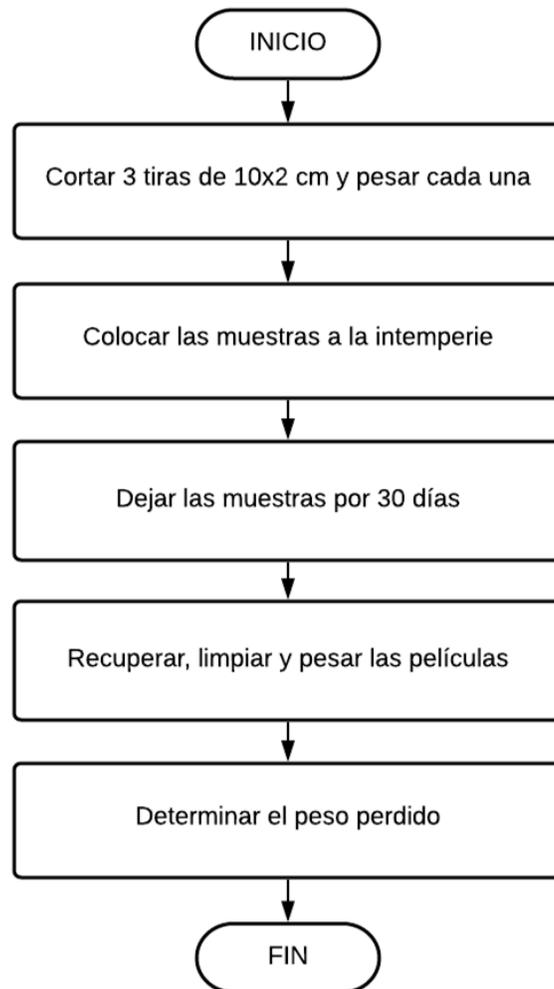


Fuente: elaboración propia (2021)

3.4.4. Determinación de biodegradabilidad

➤ Pruebas de campo (tierra)

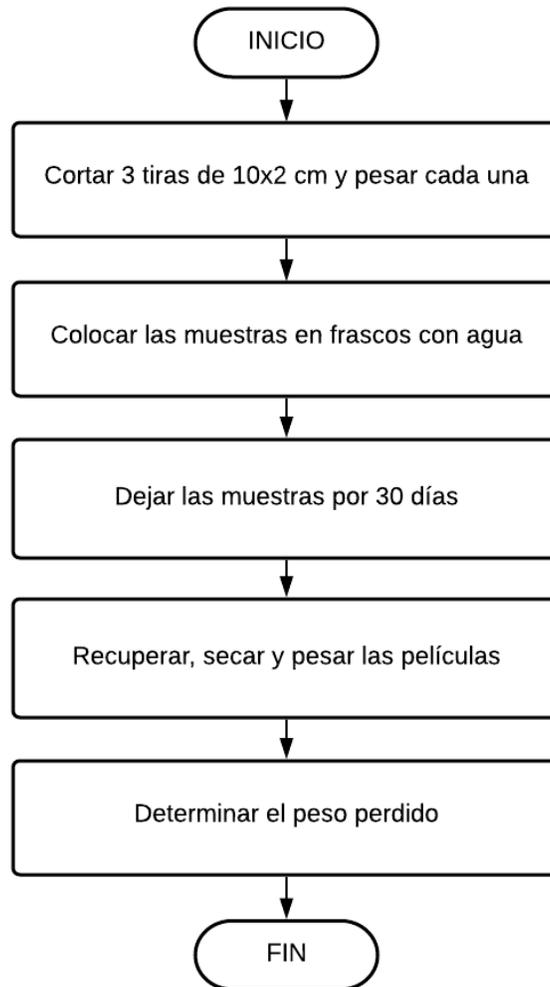
Figura no. 8. Diagrama de prueba de campo en tierra



Fuente: elaboración propia (2021)

➤ Prueba de campo (medio acuoso)

Figura no. 9. Diagrama de Prueba de campo en medios acuosos



Fuente: elaboración propia (2021)

3.5. Diseño y Metodología estadística

El presente estudio consiste en la propuesta de una formulación que garantice ciertas cualidades para ser empleado como un sustituto del plástico convencional, por lo que las formulaciones, pruebas y evaluaciones fueron llevadas a cabo a nivel laboratorio

Fueron diseñadas 3 formulaciones para ser utilizadas con cada uno de los 3 agentes espesantes utilizados. Adicional, cada formulación fue realizada para 2 tipos de sandía, redonda y ovalada, dando un total de 18 formulaciones. Con el objetivo de validar el método y darles confiabilidad a los resultados, cada una de las pruebas fue realizada por triplicado. Se utilizó un esquema por triplicado debido al tiempo, costo y situaciones de disponibilidad de las instalaciones de la Universidad. Según Skoog (2014) en Análisis Químico Cuantitativo, a fin de aumentar la confiabilidad de los resultados de un procedimiento analítico y de obtener información sobre la variabilidad de estos, lo más común es someter de dos a cinco réplicas de la muestra al procedimiento analítico completo.

Para el análisis estadístico de los datos cuantitativos se utilizaron medidas de tendencia central y medidas de dispersión, con la finalidad de sintetizar los datos obtenidos y determinar la variabilidad que presentan entre ellos.

3.5.1. Medidas de tendencia central

Se determinó la media aritmética, la cual presenta el dato central de las corridas de cada uno de los ensayos a realizarse.

➤ Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^N X_1}{N}$$

(Ecuación No. 01)

Donde:

\bar{x} = media

$\sum_1^N X_1$ = sumatoria de valores

N = número de datos

3.5.2. Medidas de dispersión

Se determinó la desviación estándar, la cual presenta el grado de dispersión de los datos obtenidos con respecto a la media aritmética.

➤ Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

(Ecuación No. 02)

Donde:

S = desviación estándar

\bar{x} = media aritmética

x_i = valor de la muestra

n = número de datos

También se determinó la varianza, que representa la variabilidad de los resultados obtenidos.

➤ Varianza

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

(Ecuación No. 03)

Donde:

s^2 = varianza

\bar{x} = media aritmética

x_i = valor de la muestra

n = número de datos

IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la síntesis del polímero se realizaron 3 formulaciones, variando las cantidades utilizadas de pasta de sandía y agente espesante. Cada una de estas fue elaborada por triplicado, utilizando cáscara de sandía redonda y ovalada y utilizando 3 diferentes agentes espesantes. Se muestran en la tabla no. 10 las características físicas observables de cada muestra sintetizada.

Tabla no. 10. Resultados cualitativos de las formulaciones del bioplástico¹

Espesante	Formulación	Color	Textura	Otras observaciones
Pectina	SR1	Amarillo-café	Liso	Maleable y suave.
	SR2	Amarillo-café	Liso	Suave, flexible, sensible al agua.
	SR3	Amarillo-café	Grumoso	Coloración oscura, formación de grumos.
	SO1	Verde oscuro	Liso	Flexible, maleable.
	SO2	Verde-café	Grumoso	Rígido, formación de grumos.
	SO3	Vede-café	Pastoso	De coloración muy oscura, pegajoso
Carbopol	SR4	Amarillo	Rugoso	Formación de grumos, rígido.
	SR5	Amarillo claro	Rugoso	Quebradizo y rígido.
	SR6	Amarillo	Grumoso	Rígido, quebradizo. Formación de burbujas y grumos
	SO4	Verde	Rugoso	Formación de burbujas, rígido.

¹ Se identifican con SR las formulaciones en las que se utilizó sandía redonda y SO en las que se utilizó sandía ovalada

	SO5	Verde	Rugoso	Poco flexible, formación de grumos
	SO6	Verde	Rugoso	Rígido y quebradizo.
Alginato de Sodio	SR7	Amarillo	Liso	Maleable, semitransparente.
	SR8	Amarillo	Liso	Maleable, sensible al agua.
	SR9	Amarillo claro	Rugoso	Muy sensible al agua, rígido.
	SO7	Verde claro	Liso	Flexible, coloración oscura.
	SO8	Verde claro	Grumoso	Rígido, formación de grumos sensible al agua.
	SO9	Verde	Grumoso	Muy sensible al agua, formación de burbujas, rígido

Fuente: elaboración propia (2021)

De estas se seleccionó la formulación que presentaba mejores características físicas y cuyas características observables fueran más similares a las de un plástico convencional derivado de petróleo. La formulación final, la cual se muestra en la tabla no. 11, fue la SR7.

Tabla no. 10. Formulación final para el bioplástico

Aditivo	Masa (g)	Porcentaje
Pasta de cáscara de sandía	60 ± 0.5 g	68.2%
Agua	20 ± 0.5 g	22.7%
Glicerina	5 ± 0.5 g	5.7%

Alginato de Sodio	3 ± 0.5 g	3.4%
-------------------	---------------	------

Fuente: elaboración propia (2021)

A continuación, se describen las características cualitativas y cuantitativas del bioplástico sintetizado.

Tabla no. 11. Propiedades cuantitativas del bioplástico obtenido de la formulación óptima

Datos	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Peso	25.74 ± 0.005 g	24.91 ± 0.005 g	24.53 ± 0.005 g
Espesor	0.2 ± 0.05 mm	0.2 ± 0.05 mm	0.2 ± 0.05 mm
Largo	30.9 ± 0.05 cm	30.7 ± 0.05 cm	30.3 ± 0.05 cm
Ancho	22.7 ± 0.05 cm	20.9 ± 0.05 cm	21.6 ± 0.05 cm

Fuente: elaboración propia (2021)

Se determinó el rendimiento del bioplástico por medio de la relación entre la cantidad de pasta de cáscara de sandía utilizada y el peso total de bioplástico sintetizado.

Tabla no. 12. Rendimiento promedio del bioplástico obtenido de la formulación final

Rendimiento	$41.8 \pm 2.5619\%$
-------------	---------------------

Fuente: elaboración propia (2021)

Se realizaron pruebas de humedad utilizando un analizador de humedad electrónico para determinar el porcentaje de humedad presente en el bioplástico sintetizado.

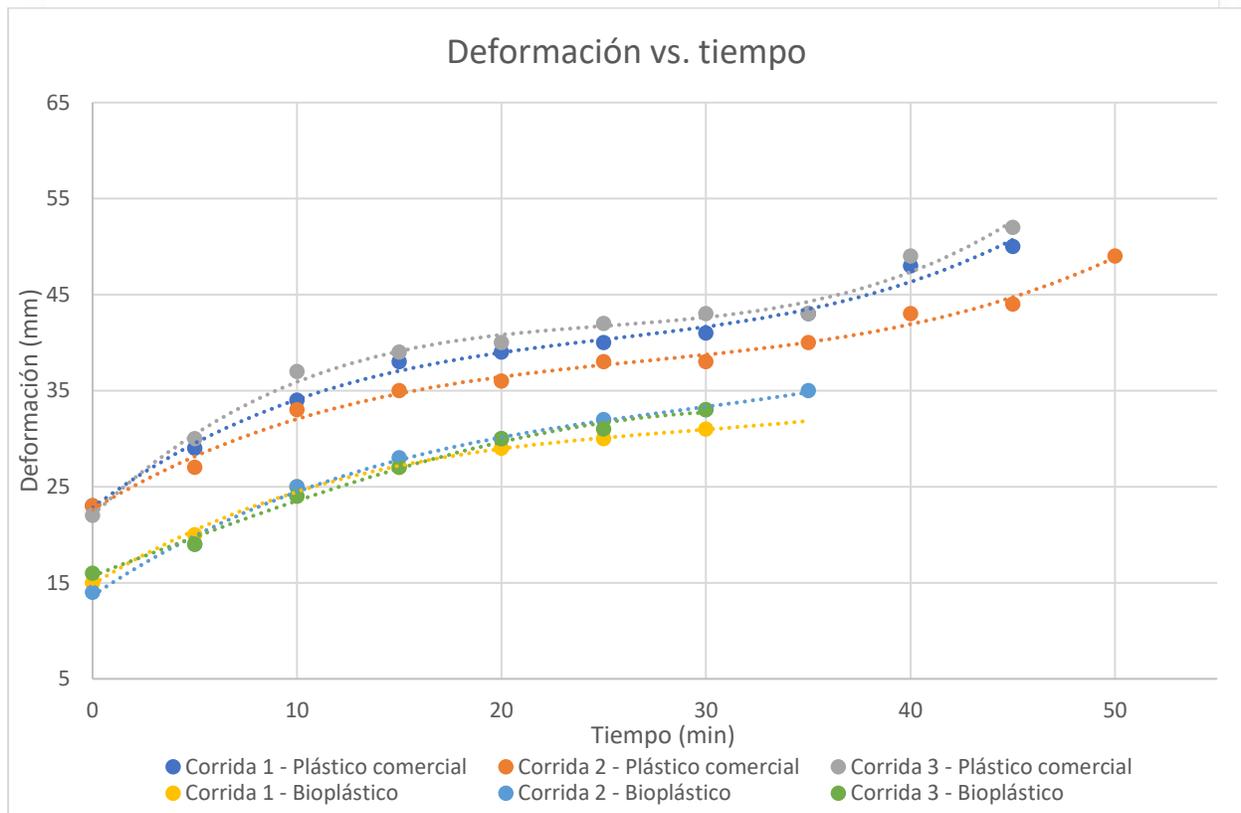
Tabla no. 13. Porcentaje de humedad promedio del bioplástico

% de humedad	18.54 %
--------------	---------

Fuente: elaboración propia (2021)

Las propiedades mecánicas se determinaron por medio de pruebas de fluencia lenta (creep) y de esfuerzo. Estas se realizaron en el bioplástico sintetizado y en plástico comercial, con la finalidad de compararlos. Los resultados de la prueba de fluencia lenta se utilizan para comparar la elasticidad del bioplástico con la del plástico convencional. Los resultados de esta prueba se muestran en la gráfica de deformación vs tiempo y en la tabla de tiempos de ruptura.

Gráfica no. 1. Gráfica de deformación vs. Tiempo del bioplástico sintetizado y del plástico comercial.



Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 14. Tiempo de ruptura del bioplástico y del plástico comercial

Material	Tiempo de ruptura (min)	Intervalo de confianza al 95%	Desviación estándar
Bioplástico	34.59	± 1.3996	0.5634
Plástico comercial	47.58	± 7.3779	2.9700

Fuente: elaboración propia (2021)

La prueba de esfuerzo se utiliza para comparar la resistencia que tiene el bioplástico con la del plástico convencional. Los resultados de esta prueba, que se realizó para el plástico comercial, el bioplástico sintetizado cuando acaba de elaborarse y pasados 30 días, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla no. 15. Resistencia promedio del bioplástico y del plástico comercial.

Material	Peso promedio soportado (kg)	Resistencia promedio (Pa)
Bioplástico recién elaborado (B1)	2.48 ± 0.1383	810.96 ± 45.2277
Bioplástico después de 30 días (B2)	2.00 ± 0.0759	655.09 ± 24.8166
Plástico comercial (PC)	2.97 ± 0.1034	972.28 ± 33.8193

Fuente: elaboración propia (2021)

Durante las pruebas de campo de biodegradabilidad, se determinó el peso inicial justo antes de colocar las muestras en el medio y el peso final se determina luego de 30 días. Con estos datos, se determina el peso total perdido de las muestras del bioplástico.

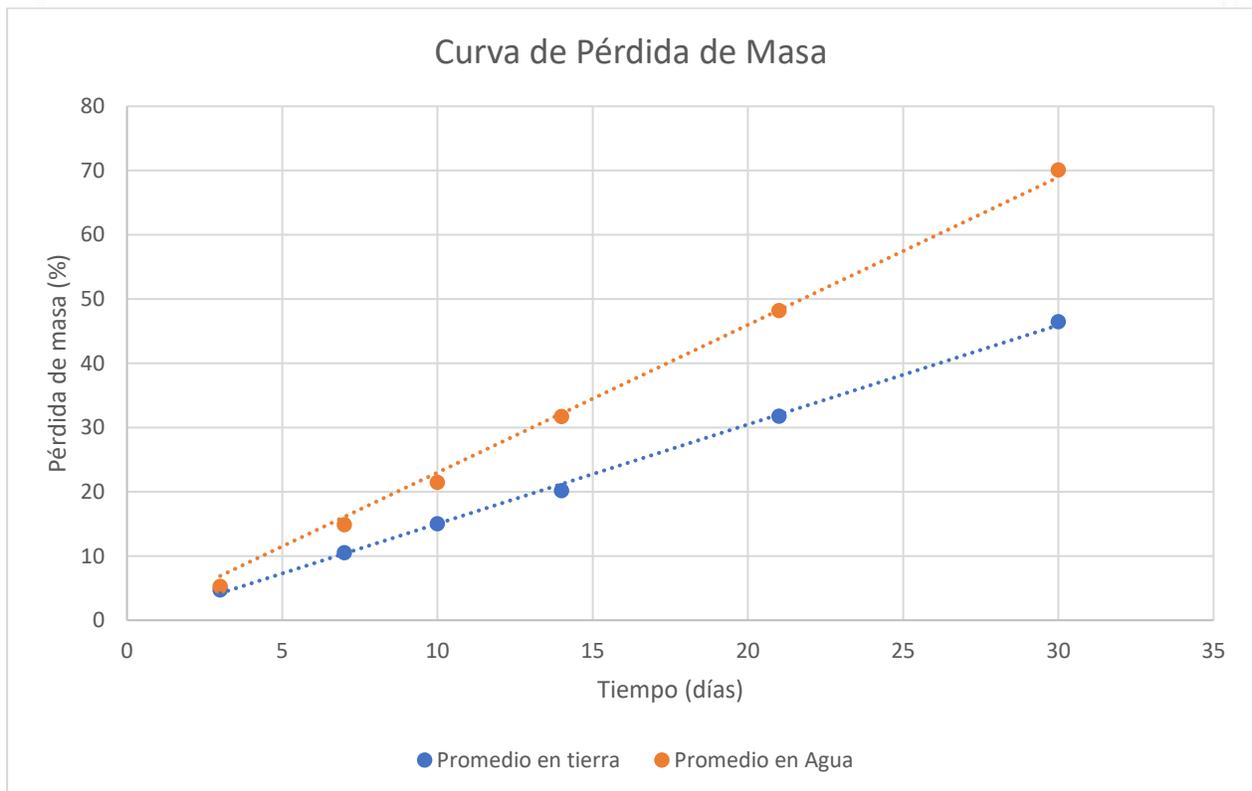
Tabla no. 16. Peso perdido en el periodo de 30 días

Medio	Peso promedio perdido	Intervalo de confianza al 95%	Desviación estándar
Tierra	46.47 %	± 5.9574	2.3982
Agua	70.13%	± 4.2299	1.7028

Fuente: elaboración propia (2021)

También se tomaron los pesos de las muestras durante los días 3, 7, 10, 14 y 21 de la prueba, lo cual permitió graficar una curva de porcentaje de peso perdido vs el tiempo.

Gráfica no. 2. Curva de pérdida de masa.



Fuente: elaboración propia (2021)

Las líneas de tendencia que mejor se ajustan al comportamiento de los puntos, tanto en tierra como en agua, son lineales y sus ecuaciones correspondientes se muestran en la tabla 18.

Tabla no. 17. Ecuación de las curvas de biodegradabilidad

Medio	Ecuación
Tierra	$y = 1.5462x - 0.4465$
Agua	$y = 2.2986x$

Fuente: elaboración propia (2021)

Donde “x” representa el tiempo en días y “y” representa el porcentaje de masa perdida. Esta ecuación se utilizó para estimar el tiempo que le llevaría al bioplástico degradarse totalmente.

Tabla no. 18. Tiempo aproximado que le llevaría al bioplástico degradarse totalmente

Medio	Tiempo
Tierra	65 días
Agua	44 días

Fuente: elaboración propia (2021)

El costo de elaboración del bioplástico a nivel laboratorio se determina sumando los costos de la materia prima utilizada y los costos indirectos de manufactura.

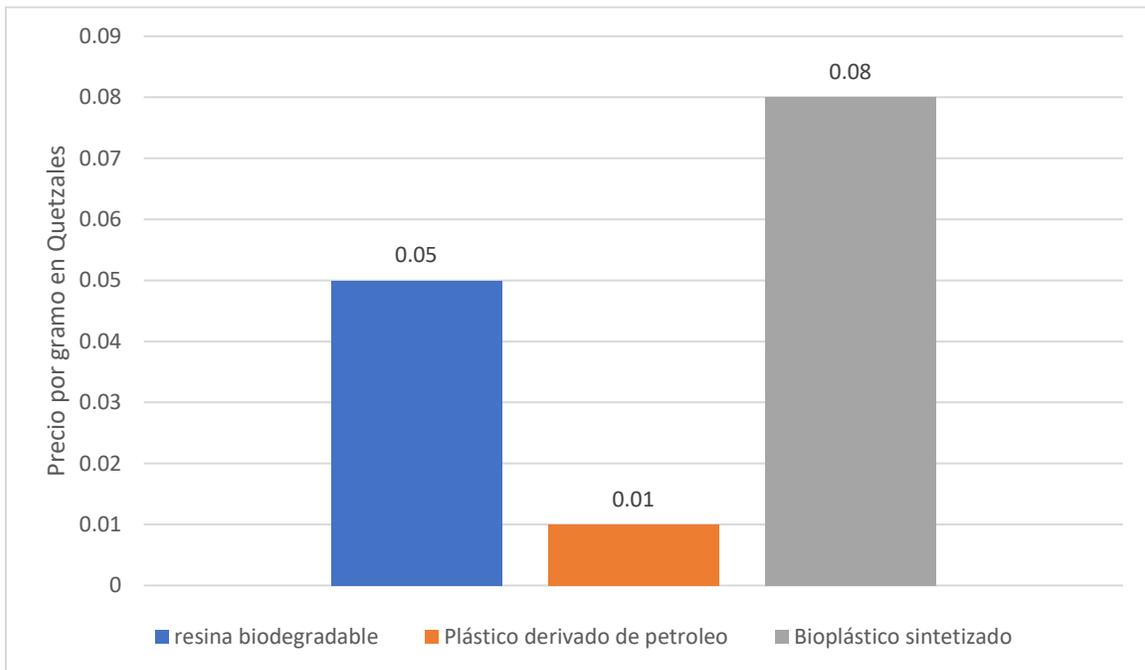
Tabla no. 19. Costos por gramo para la elaboración del bioplástico.

Costos directos	Costos indirectos	Costo total por gramo
Q0.04	Q0.04	Q0.08

Fuente: elaboración propia (2021)

Para determinar si el bioplástico puede ser competitivo en el mercado actual, se comparan los precios de plásticos y resinas biodegradables comerciales con el costo de producción del bioplástico.

Gráfica no. 3. Comparación entre precios de plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente y el costo de la materia prima del bioplástico sintetizado



Fuente: British Plastic Federation & Biopack Tech Co. (2021).

Se compara de manera preliminar los costos de producción a nivel laboratorio con los precios de venta de plástico convencional y de resina biodegradable de mayor valor adquisitivo.

V. DISCUSIÓN

Para determinar la formulación que se seleccionaría para la síntesis de la película polimérica a base de sandía, primero se procedió a conseguir la materia prima seleccionando frutos que no presentaran daños superficiales, crecimiento de moho, rupturas en la cáscara o lesiones ocasionadas por golpes o caídas. El vendedor indicó que la sandía era procedente de Escuintla, Guatemala. También, se buscó que las sandías estuvieran completamente maduras, ya que según Award (2017), la piel de la sandía totalmente madura contiene aproximadamente 20% de celulosa y 13% de pectina, que son los componentes necesarios para la síntesis del bioplástico. Shaghaleh & Wang (2018) explican que la celulosa es un homopolímero sindiotáctico lineal compuesto por unidades de D-anhidroglucopiranosas, unidas por enlaces β -(1 \rightarrow 4)-glucosídicos. A diferencia de la glucosa en otros polímeros de glucano, la unidad repetitiva de este polímero natural es un dímero de glucosa, conocida como celobiosa. Muchas de las propiedades de la celulosa dependen del grado de polimerización, que puede variar según la fuente de celulosa. Debido a la gran cantidad de grupos hidroxilo en los anillos de glucosa a lo largo del esqueleto, existe una gran cantidad de enlaces de hidrógeno entre las cadenas de celulosa individuales (enlaces intramoleculares e intermoleculares) que da como resultado la cristalización de múltiples cadenas de celulosa en microfibrillas insolubles y dos regiones estructurales, es decir, regiones cristalinas y amorfas. Esto le da a la celulosa su alta resistencia, rigidez, durabilidad y biocompatibilidad. Además, la presencia de tres grupos hidroxilo en cada unidad monomérica y su alta reactividad le da a la celulosa propiedades tales como hidrofilia, quiralidad y biodegradabilidad. La interacción entre las sustancias pécticas y las fracciones de hemicelulosa-celulosa dan como resultado cadenas complejas de polímeros.

Además de la sandía, los otros componentes claves para la síntesis de la película polimérica son el agente espesante y plastificante. Como agente plastificante se seleccionó la glicerina, debido a que es un compuesto de fácil acceso, bajo costo, baja toxicidad y con un alto punto de ebullición que permite que se evaporen los componentes

no deseados del bioplástico, principalmente el agua, al colocarlo en el horno y le permite al bioplástico alcanzar una rigidez adecuada (Torres, López & Domiguez, 2014). El agente plastificante, en este caso la glicerina, actúa facilitando la movilidad de las cadenas poliméricas, lo cual mejora la flexibilidad del bioplástico. Al estar presente en menor cantidad, su efecto en el bioplástico se reduce, lo cual resulta en un material rígido. Como agente espesante se seleccionaron 3 diferentes compuestos: la pectina, debido a que es un polisacárido natural no tóxico, el carbopol, por ser un polisacárido de bajo costo y el alginato de sodio, por ser polisacárido natural que se extrae de algas. Se probaron 3 espesantes diferentes con el fin de identificar cuál era el aditivo que ayuda a mejorar más las características del bioplástico.

Se comenzó con la preparación de la cáscara, separándola del fruto y cortándola en trozos pequeños. Estos se sumergieron en una solución de metabisulfito de sodio durante 45 minutos, actuando como antioxidante y prevenido el crecimiento microbiano en las cáscaras (Gaonkar et al., 2017), lo cual aumenta la vida útil del bioplástico. Se hirvió la cáscara en trozos en agua destilada para eliminar cualquier bacteria que aún pudiera estar presente en la cáscara y porque el calentamiento ayuda a la ruptura y extracción de los materiales poliméricos de la cáscara de sandía. Luego se sumergió en una solución de bicarbonato de sodio, con el fin de lograr 2 cosas: primero, con el pH de la cáscara. Rojas, Vargas & Tamayo (2008) explican que el pH de una sandía madura oscila entre 5.1 y 5.8. Además, Valle, Durán, Quintero & Valera (2020) indican que el pH de la corteza tiene a ser un poco más ácida que el de las pulpas. Al sumergir la cáscara en el bicarbonato, al ser una base, ayuda a alcanzar un pH más neutro. Esto se observó al medir el pH de la pasta de cáscara de sandía después del proceso de preparación, obteniendo un pH que oscila entre los 6.6 y 6.8, como se muestra en la tabla no. 23 en la sección de anexos. El segundo propósito del bicarbonato es ayudar a blanquear la cáscara para evitar que el producto final tenga una coloración muy fuerte, ya que es de interés que el producto final sea agradable y atractivo a la vista.

Se preparó una pasta, licuando los trozos secos obtenidos después del blanqueamiento. Se licuó la cáscara como parte del método de ruptura mecánica y que ayuda en la extracción de los materiales poliméricos de la cáscara de sandía. A esta pasta se le

agregó agua, glicerina y el agente espesante con agitación constante, variando las proporciones de cada uno de estos para obtener diferentes formulaciones. En estas formulaciones se modificaban la cantidad de pasta y la cantidad de agente espesante utilizado, ya que estos son los componentes que le darán las características mecánicas al bioplástico. Debido a que la pasta de cáscara de sandía contiene agua debido a la humedad presente naturalmente en la cáscara de sandía, las formulaciones se modificaron haciendo disminuciones en la cantidad de pasta y aumentando la cantidad de agente espesante. Lo que se esperaba de estas modificaciones era que, mientras más se disminuyera la cantidad de agua al disminuir al reducir la cantidad de pasta y más se aumentara la cantidad de polisacárido al agregar más espesante, el material obtenido tendría una mejor resistencia a la tensión y al desgarro, pero que se iban a ver reducidas su flexibilidad y elasticidad. Cabe mencionar que la razón por la que se disminuye la cantidad de pasta y no la cantidad de agua directamente es debido a que el agua es utilizada para la disolución del agente espesante. Si se disminuyera la cantidad de agua, resultaría en una mayor dificultad para integrar el agente espesante en la mezcla, se requeriría una agitación más vigorosa y por un periodo de tiempo mayor.

Una vez realizada la mezcla, la pasta uniforme se vertió en las bandejas y se colocaron en el horno por aproximadamente 3 horas a 120°C. Después del tiempo en el horno, la muestra se pudo despegar de las bandejas. Toda la preparación se hizo por triplicado para probar la reproducibilidad de los experimentos. Contreras, Vargas y Ríos (2018) indican que la técnica de vaciado en placa, o “casting”, es uno de los procesos principales utilizados industrialmente para hacer películas poliméricas. Esta implica verter una resina líquida en un molde, usando la gravedad para llenar la cavidad y permitiendo que el polímero se endurezca. La solución pasa de líquido a sólido ya sea por evaporación, acción química, enfriamiento o calor externo, y el producto final se puede quitar del molde una vez se solidifica. Ya que el procedimiento realizado en la síntesis del bioplástico es un proceso a nivel laboratorio de la técnica de “casting”, es posible decir que la mezcla para la elaboración del polímero puede ser procesada a nivel industrial por este método para la elaboración de películas poliméricas. La aplicación que se le puede dar a estas se discutirá más adelante. Es importante tener en cuenta que el método de vaciado en

placa tiene las ventajas de ser un proceso con costo de equipos, herramientas y moldes bajos, además de no ser un proceso complejo, lo cual lo hace un método atractivo económicamente para la elaboración de las películas biopoliméricas,

Mayhuire, Cuadros, Miranda & Medina (2019) en su investigación “*biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana*” reportan que en la formación de películas utilizando residuos orgánicos la resistencia de tensión aumenta por la adición del agente plastificante y el agente espesante. Esto se debe a que la fuerza de las fibras de celulosa y la capacidad gelificante de la pectina que se encuentran naturalmente en las cáscaras de algunas frutas y la capacidad gelificante del espesante utilizado se combinan para producir películas competitivas con los plásticos comerciales. Tomando esto en cuenta, se seleccionaría como óptima la formulación que permitiera sintetizar un bioplástico con propiedades físicas adecuadas y similares a las de un plástico convencional. Esto se realizó haciendo una inspección visual de los bioplásticos sintetizados, tomando en cuenta su textura y apariencia, y aplicando una pequeña cantidad de fuerza con las manos para observar si se daba algún tipo de ruptura o deformación. Los resultados obtenidos pueden observarse resumidos en la tabla no. 10 en la sección de resultados.

Fue posible observar diferencias significativas en los bioplásticos dependiendo del agente espesante utilizado. Lo que se observó con las formulaciones con carbopol fue que estas requerían una agitación más vigorosa y por un tiempo mayor que la pectina y el alginato, ya que tendía a formar aglomerados que no se dispersaban fácilmente y era difícil de integrar a la mezcla. Los bioplásticos elaborados con carbopol resultaron más rígidos y menos flexibles que los elaborados con las mismas proporciones utilizando pectina o alginato. Debido a esto, se descartaron las formulaciones que utilizaban carbopol como agente espesante. Los bioplásticos obtenidos utilizando pectina y alginato de sodio tenían propiedades similares, siendo la diferencia más significativa el color del bioplástico. Los bioplásticos que utilizaban pectina tendían a tener una coloración más oscura y café, mientras que los elaborados con alginato tenían una coloración más clara y amarillenta. Sin embargo, durante la preparación de las formulaciones, pudo observarse que las mezclas con pectina tendían a ser más viscosas que las que contenían alginato de sodio.

Esta viscosidad hizo que fuera más difícil el proceso de vertido para ingresar al horno. Además, es importante tener en cuenta que la pectina tiene un precio mayor al alginato. Tomando estos aspectos en cuenta, se descartaron también las formulaciones que utilizaban pectina.

El alginato de sodio, el cuál es un polisacárido natural extraído de algas marinas, fue el agente espesante con el que se observaron mejores características en el bioplástico elaborado. Theagarajan, Dutta, Moses, & Chinnaswamy (2019) explican que la adición de alginatos para la elaboración de biopolímeros favorece las características mecánicas de este, como la resistencia a la tracción, flexibilidad y resistencia mecánica. Esto se comprobó al hacer pruebas preliminares de resistencia mecánica, tomando los bioplásticos sintetizados y aplicando una pequeña cantidad de fuerza con las manos. Esto se puede observar en la tabla no. 10 en la sección de resultados, siendo los bioplásticos sintetizados con alginato los que presentan mejor resistencia y flexibilidad en comparación con los que se elaboraron con pectina y carbopol. Sin embargo, también explican que los alginatos aumentan la porosidad del biopolímero, lo cual hace que estos tengan una alta permeabilidad al agua. Esto se observa con las formulaciones SR9 y SO9 que, como se observa en la tabla no. 10, fueron más susceptibles a desintegrarse al entrar en contacto con el agua.

Es importante mencionar que la diferencia en las propiedades de los bioplásticos sintetizados con cáscara de sandía redonda y ovalada radicaban principalmente en el aspecto visual, siendo los bioplásticos de sandía ovalada de una coloración verde más fuerte en comparación con los de sandía redonda, como se describe en la tabla no. 10. En esa misma tabla también puede observarse que los bioplásticos de sandía ovalada tendían a presentar una textura más grumosa que los de sandía redonda. Debido a que no se observaron diferencias significativas en las propiedades mecánicas entre los bioplásticos elaborados con ambas sandías, se descartaron los bioplásticos de sandía ovalada basándose en sus características visuales, ya que estas resultan menos atractivas.

Tras evaluar las múltiples formulaciones, con los criterios mencionados anteriormente, se seleccionó como óptima la formulación SR7, la cual se conforma de 68.2% de pasta de

cáscara de sandía redonda, 22.7% de agua, 5.7% de glicerina y 3.4% de alginato de sodio, como se puede observar en la tabla no. 11 en la sección de resultados. Además, se determinó el porcentaje de rendimiento, el cual se refiere a la relación entre la cantidad de pasta de cáscara de sandía utilizada, que es la materia prima principal, y la masa total del bioplástico sintetizado. Se obtuvo un rendimiento de 41.8% como indica la tabla no. 13. Este rendimiento se considera relativamente bajo al compararlo con otros bioplásticos elaborados a nivel laboratorio, los cuales se encuentran entre el 50 y 70% de rendimiento. Este bajo rendimiento se debe a pérdidas que se dieron durante los trasvases de materias primas a diferentes recipientes durante la elaboración del bioplástico. También un factor importante es la pérdida de agua, ocasionada durante el calentamiento en el horno.

Debido a que el bioplástico está elaborado utilizando cáscara de fruta como materia prima que naturalmente almacena humedad, se utilizó un analizador de humedad para determinar el porcentaje de humedad presente en el bioplástico sintetizado. Para esto se utilizó un analizador de humedad, el cual funciona al colocar una muestra del bioplástico a cierta temperatura y después de unos minutos el equipo determina el porcentaje de humedad mediante la diferencia de pesos. Como puede observarse en la tabla no. 14 en la sección de resultados, se obtuvo en promedio un porcentaje de 18.54%. La presencia de humedad puede dar lugar a imperfecciones en las películas de bioplástico como formación de burbujas, roturas, deformaciones y una estructura irregular. Además, es importante tener en cuenta que el exceso de humedad favorece el crecimiento de microorganismos, lo cual deteriora la calidad del bioplástico y reduce su vida útil. Es posible mejorar la humedad utilizando agentes desecantes en las paredes del empaque, pero se debe tener en consideración que estos podrían llegar a alterar las propiedades ópticas y mecánicas de las películas.

Debido a que los componentes principales presentes en el bioplástico sintetizado son la celulosa y pectina provenientes de la cáscara de sandía, Acquavia et al. (2021) indica que este será sensible al agua. Además, como se mencionó anteriormente, el alginato presente también aporta a la porosidad del bioplástico, lo que aumenta su permeabilidad al agua. Esto se comprobó colocando una muestra del bioplástico en contacto directo con agua, y se observó que, pasados unos minutos, el bioplástico comenzaba a deshacerse.

Es por esto por lo que se recomienda que el bioplástico sea utilizado en aplicaciones con baja o ninguna exposición a la humedad. Sin embargo, el uso de recubrimientos impermeabilizantes puede ayudar a mejorar las propiedades hidrofóbicas del bioplástico para ampliar su campo de uso.

Para determinar las propiedades físico-mecánicas del polímero sintetizado se realizaron las pruebas de fluencia lenta y de resistencia. Primero se realizó la prueba fluencia lenta, utilizando un peso conocido y sometiendo una muestra de la película de 5cmx10cm al esfuerzo hasta su punto de ruptura. Se conoce como fluencia lenta a la tendencia de un material a deformarse bajo la influencia de una tensión constante y que, con el tiempo suficiente, puede conducir a su ruptura. Para esta prueba se midió la longitud inicial de la muestra y el tiempo que le tomó a la película alcanzar su punto de ruptura al colgar de esta un peso constante de 400g. Los tiempos de ruptura pueden observarse en la tabla no. 15. Se puede observar que, en promedio, al bioplástico le tomó 35 minutos llegar a su punto de ruptura. Para poder observar cómo se daba la deformación del material a lo largo del tiempo, se hicieron mediciones de longitud de la película, primero en el momento en el que se sometió al peso y luego cada 5 minutos hasta que llegó a su punto de ruptura. Estos datos pueden observarse en la gráfica no. 1. Esta gráfica se utilizará más adelante para comparar los resultados obtenidos para el bioplástico y para el plástico comercial.

La segunda prueba que se realizó fue la de esfuerzo, que buscaba determinar la resistencia del bioplástico. Para esto, se tomaron muestras de los polímeros, de 15cmx20cm, y se utilizaron masas con pesos conocidos que se fueron colocando sobre las películas para determinar el peso máximo que esta soporta antes de romperse. Esta prueba también se hizo con una muestra del bioplástico 30 días después de su elaboración, con el fin de observar si existe un deterioro en el material. Se obtuvo que, en promedio, el bioplástico recién elaborado puede soportar una carga de 2.48kg, o aproximadamente 5.5lb. Las muestras tenían un área de 300cm², con lo cual se pudo determinar que la resistencia promedio del bioplástico es de 810.96Pa. El bioplástico 30 días después pudo soportar en promedio una carga de 2.00kg o 4.4lb, y se determinó

que tiene una resistencia de 655.1Pa. Esto significa que el bioplástico puede soportar una carga de casi 100 su propio peso. La resistencia mecánica del bioplástico se atribuye al contenido de pectina de la cáscara de sandía y sus fibras celulósicas, las cuales proporcionan la resistencia necesaria, y el glicerol que facilita la fuerza de unión como plastificante.

Puede observarse también que el bioplástico después de 30 días, tiempo durante el cual se mantuvo guardado en un lugar seco a temperatura ambiente, sufre un decrecimiento en su resistencia. Esto se atribuye a lo susceptible que es el material a la humedad, como se mencionó anteriormente. La humedad del aire afectó las propiedades mecánicas del bioplástico haciéndolo menos resistente que cuando se acababa de sintetizar.

El polímero exhibió la forma según la forma del molde, y la superficie también era relativamente suave. Debido a su carácter frágil, el bioplástico puede resultar útil para fabricar cucharas, pajillas y vasos de base biológica, aunque se deben realizar mejoras en cuanto a la rigidez y la flexibilidad para utilizar estas películas para aplicaciones comerciales y envases sostenibles. Otro parámetro que es necesario tener en cuenta son las propiedades de hidrofobicidad del material desarrollado, y también si es capaz de contener líquido sin que el contenido se ablande. La flexibilidad mejorada lo haría adecuado y proporcionaría resistencia al impacto al bioplástico.

Para determinar el tiempo de degradación del polímero sintetizado se realizaron pruebas de campo en tierra y en agua. Se buscaba que el bioplástico sintetizado se degradara en un tiempo menor a los plásticos convencionales elaborados a partir de petróleo. Para esto, el bioplástico debía tener propiedades que hicieran que el polímero fuera más susceptible a la degradación por factores ambientales como la hidrólisis o la oxidación. La cáscara de sandía, según Singh et al. (1975), se compone principalmente de celulosa y hemicelulosa, que contienen enlaces hidrolizables. Los constituyentes como el almidón, la pectina y la celulosa presentes en la cáscara de sandía proporcionan fuentes de carbono muy deseadas para el crecimiento y la multiplicación de microbios. Enzimas como las pectinasas, las celulasas y las hemicelulasas se unen a los contenidos

de pectina, celulosa y hemicelulósica respectivamente e inician la biodegradación microbiana de la película. Debido al carácter hidrofílico de las materias primas utilizadas, se esperaba que en condiciones de humedad y en medios acuosos, el polímero se degradara con mayor rapidez debido a la acción de las enzimas hidrolíticas de los microorganismos.

Para determinar el tiempo de degradación del bioplástico se hicieron pruebas en 2 medios diferentes durante un periodo de 30 días, midiendo los pesos iniciales y finales de las muestras para determinar el peso total perdido, así como los pesos durante diferentes días a lo largo de la duración de la prueba. Los datos de porcentaje de pérdida de peso promedio a lo largo del tiempo en cada uno de los medios pueden observarse en la tabla no. 46 en la sección de anexos y pueden observarse en la curva de pérdida de masa, correspondiente a la gráfica no. 3 en la sección de presentación y análisis de resultados. Se determinaron las ecuaciones de las líneas de tendencia para la pérdida de masa, las cuales se muestran en la tabla no. 18, y con estas se puede hacer una aproximación del tiempo que le tomaría al bioplástico descomponerse completamente.

La primera prueba consistió en colocar muestras del bioplástico sintetizado en tierra, donde estuviera en contacto con diferentes factores ambientales como lluvia y luz solar. Se determinó que, durante 30 días, las muestras perdieron en promedio el 46.47% de su masa como se muestra en la tabla no. 15 en la sección de resultados. Se puede observar en la tabla no. 18 en la sección de resultados la ecuación correspondiente al porcentaje de pérdida de masa promedio en la tierra a lo largo del tiempo. Utilizando esta ecuación, la cual tiene un comportamiento lineal, se puede determinar el tiempo aproximado que le toma al bioplástico degradarse totalmente. Esto se realiza despejando "x", que corresponde al tiempo en días, y dándole a la variable "y" un valor de 100, que corresponde al porcentaje de masa perdida. Entonces, como se muestra en la tabla no. 19, el tiempo aproximado que le llevaría al bioplástico degradarse completamente en la tierra es de 65 días.

La segunda prueba se realizó en un medio acuoso, colocando las muestras del bioplástico en frascos llenos de agua. Se pudo observar que el bioplástico de inmediato comenzaba a desintegrarse. Se determinó que las muestras perdieron en promedio el

70.13% de su masa. Utilizando la ecuación correspondiente al porcentaje de pérdida de masa promedio en agua a lo largo del tiempo, que se encuentra en la tabla no. 18 de la sección de resultados, se puede estimar que al bioplástico le tomaría 43 días degradarse completamente en medio acuoso.

Se compararon las propiedades físicas, mecánicas y la biodegradabilidad del polímero sintetizado con plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente utilizados para empaque de alimentos, ya que lo que se buscaba era sintetizar un material cuyas características fueran similares a la de los plásticos que se encuentran disponibles comercialmente.

En las pruebas físico-mecánicas, se realizaron pruebas tanto para el bioplástico como para el plástico comercial. Para estas pruebas se utilizó plástico de cocina marca Great Value. Se puede observar que, en promedio, al plástico comercial le llevó 48 minutos llegar a su punto de ruptura mientras que al bioplástico le tomó 36 minutos. Si bien existe una diferencia de 12 minutos entre los puntos de ruptura de ambos materiales, el tiempo de ruptura del bioplástico se considera aceptable, ya que no fue una ruptura inmediata. En la gráfica no. 1 de la sección de resultados se muestra la deformación vs tiempo. Se puede observar que, a pesar de que todas las muestras tenían longitudes iniciales similares, las muestras de plástico comercial sufrieron una mayor deformación que el bioplástico, pero también su tiempo de ruptura era mayor. Esto indica que el plástico comercial tiene una mayor elasticidad que el bioplástico sintetizado.

Durante la prueba de resistencia, se obtuvo que el plástico comercial pudo soportar en promedio una carga de 2973g o 6.6lb, y tiene una resistencia promedio de 972.28Pa. Al comparar los resultados obtenidos en ambas pruebas, se observa que el bioplástico es un material más rígido y posee una resistencia menor al plástico comercial. Sin embargo, sus propiedades se asemejan lo suficiente a las del plástico de cocina comercial para que se considere su uso como sustituto.

Ashter (2016) indica que los polímeros derivados del petróleo tardan más de 100 años en descomponerse naturalmente y, según normas internacionales, el tiempo requerido

para que un bioplástico se descomponga completamente debe ser 180 días (6 meses) o menos. Ya que el tiempo estimado para la degradación completa del bioplástico sintetizado en tierra y en agua es menor a 180 días, este puede considerarse como un polímero biodegradable y es una alternativa viable ambientalmente para ser sustituto del plástico convencional.

Sin embargo, es importante tener en consideración las limitantes que se tiene con las propiedades del bioplástico, siendo la más notoria su susceptibilidad al agua y la humedad, como se mencionó anteriormente. Esto limita de gran manera el campo de uso que se le podía dar al bioplástico, ya que debe descartarse su uso para el empaque de alimentos que conserven humedad, que requieran ser refrigeradas o que se deseen guardar por largos periodos de tiempo, ya que la humedad presente en el aire es suficiente para comenzar a deteriorar el bioplástico y lo cual puede afectar la integridad de los alimentos. Según el artículo 137 del código de salud de Guatemala, para que un material pueda ser utilizado como empaque de alimentos, estos deben ser compatibles con los alimentos destinados a contener y no deben provocar cambios en la composición y otras características de los alimentos como resultados del envasado. También, el artículo 226 indica que utilizar envases o empaques que alteren negativamente la calidad de los productos alimenticios constituye un caso de infracción contra la prevención de la salud. Se debe tomar en cuenta que no se realizaron pruebas microbiológicas para determinar si el bioplástico afecta de forma negativa a los alimentos, pero se sabe que la presencia de humedad en un empaque ocasiona el deterioro, ya que favorece el crecimiento de microorganismos, por lo que puede asumirse que este sería el caso para la mayoría de los alimentos. Debido a que no se puede garantizar la inocuidad, el bioplástico sintetizado es adecuado para utilizarse únicamente como empaque secundario o terciario, y que no entre en contacto directo con los alimentos.

Por último, se compararon los costos de elaboración del bioplástico con los precios de plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente, ya que se busca ser una alternativa viable no solo ambientalmente, sino económicamente. Se realizó un costeo a escala laboratorio. Para determinar el costo primero se determinaron los costos de la

materia prima. Se obtuvo que la plancha del bioplástico tiene un peso de promedio de 25.06g tiene un costo total de Q1.10, lo cual se traduce en un costo de Q0.04 por gramo. Se determinaron también los costos indirectos de manufactura provenientes de los costos derivados de la energía requerida para la elaboración del bioplásticos, los cuales se detallan en la tabla no. 52 en la sección de anexos, obteniendo un total de Q5.57 de costos indirectos. Se elaboraron en total 149.78g de bioplástico utilizando estos recursos, por lo que se obtuvo que los costos indirectos por gramo de bioplástico son de Q0.04. Al sumar los costos directos con los indirectos, se obtiene que el costo a escala laboratorio por gramo de bioplástico es de Q0.08. Al compararlo con plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente, como se muestra en la gráfica no. 4, se puede observar que el bioplástico sintetizado resulta más costoso frente al precio del plástico comercial derivado del petróleo.

Se debe tener en consideración que una de las principales ventajas que tiene el bioplástico es que no es dependiente del precio del petróleo, lo que lo convierte en una alternativa viable. Esto se debe a que cada vez existe un interés mayor por alternativas ecológicas ya que la percepción de gravedad de los riesgos ambientales causados por la contaminación plástica ha aumentado en la sociedad en las últimas dos décadas, debido a su presencia creciente e incontrolada en el medio ambiente. Es debido a esto que puede esperarse que las personas con poder adquisitivo hagan el cambio de plástico derivado de petróleo a bioplástico, aunque esté presente un precio de venta un poco superior.

Vale la pena mencionar que el costo que se determinó fue a escala laboratorio y no a industrial, por lo que puede esperarse que este costo inicial se reduzca si se adquiere la materia prima e insumos por mayor. Además, existe la posibilidad de realizar convenios con empresas que utilicen la parte comestible de sandía como materia prima y que la cáscara sea parte de sus desechos, para poder obtener la materia prima a un costo menor o incluso sin costo, lo cual permitiría tener un precio más competitivo.

VI. CONCLUSIONES

1. Se seleccionó el alginato de sodio como agente espesante, ya que los bioplásticos sintetizados con este presentan características cualitativas apropiadas.
2. Se determinó de forma experimental que la formulación óptima para la síntesis del polímero consiste en 68.2% de pasta de cáscara de sandía, 22.7% de agua, 5.7% de glicerina y 3.4% de alginato de sodio.
3. En las pruebas de laboratorio, se determinó que el bioplástico posee una resistencia promedio de 810.96Pa mientras que la del plástico convencional es de 972.28Pa, lo que indica que el bioplástico posee propiedades físico-mecánicas similares a las del plástico de cocina convencional, siendo más rígido y menos elástico, pero pudiendo soportar hasta casi 100 veces su propio peso antes de romperse.
4. Debido a sus enlaces altamente hidrolizables, el polímero es más susceptible a degradarse en condiciones de humedad, lo cual limita su uso.
5. En las pruebas de campo, se determinó para que se degrade completamente en la tierra el polímero requiere aproximadamente 65 días, y en medio acuoso requiere aproximadamente 44 días.
6. El costo a escala laboratorio del bioplástico es de Q0.08, el cual resulta competitivo frente a los precios de plásticos y bioplásticos disponibles comercialmente, cuyos precios se encuentran entre Q0.01/g para el plástico convencional y Q0.05/g para la resina biodegradable.
7. Se determinó que el bioplástico sintetizado es adecuado para ser utilizado como materia prima para la elaboración de películas poliméricas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Buscar un impermeabilizante que pueda mejorar las propiedades hidrofóbicas del bioplástico para aumentar su rango de aplicaciones.
2. Mejorar la calidad del bioplástico mediante el uso de aditivos químicos que mejoren la resistencia y flexibilidad para ampliar el campo de usos de este.
3. Realizar pruebas a nivel laboratorio que permitan determinar con mayor exactitud la biodegradabilidad del bioplástico, el porcentaje de conversión a CO₂.
4. Llevar a cabo pruebas de campo bajo distintas condiciones climatológicas para poder tener una visión más amplia del tiempo que requiere el bioplástico para su degradación.
5. Realizar las pruebas de biodegradabilidad de campo por un periodo mayor de tiempo para obtener una curva de biodegradación más exacta y que permita tener una mejor estimación del tiempo total de degradación del bioplástico.
6. Realizar pruebas microbiológicas que determinen si el bioplástico es susceptible al crecimiento microbiano.
7. Realizar pruebas estándares para determinar con mayor exactitud las propiedades mecánicas del bioplástico.
8. Realizar análisis de degradabilidad a bolsas biodegradables que actualmente se comercializan en la Ciudad de Guatemala para compararlas con unas elaboradas a partir del bioplástico propuesto en esta investigación.

9. Buscar industrias que utilicen sandía en su proceso y que desechen la cáscara y realizar convenios para obtener la materia prima a menor costo.
10. Realizar un estudio de mercado, de factibilidad y financiero de la producción de bioplástico a partir de cáscaras de sandía en Guatemala, para considerar su comercialización e industrialización.
11. Continuar los ensayos realizando pruebas mecánicas de tensión y dureza y que estas sirvan de comparación frente a un plástico derivado de petróleo para determinar sus posibles usos en la industria.
12. Producir prototipos de bolsas y realizar su producción a nivel planta piloto para poder desarrollarla a nivel industrial.
13. Realizar todas las futuras investigaciones utilizando la formulación óptima presentada, ya que esta es la que presenta las mejores características y rendimiento.
14. Realizar un estudio de factibilidad para determinar la inversión inicial y aquellos factores en planta que pudieran incrementar el precio del bioplástico.
15. Hacer un estudio que defina las diferencias en la composición entre la cáscara de sandía redonda y ovalada, para determinar si deben utilizarse formulaciones diferentes se adapten mejor a cada tipo de sandía.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acquavia, M., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M. & Bianco, G. (2021) Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. *Polymers*. Vol 13 (158). <https://doi.org/10.3390/polym13010158>

Alata, E., Cuadros, Y., Miranda, L. & Medina, E. (2019) Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Rev. Soc. Quím. Perú*. Vol 85 (2) 231-241. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000200010

Ashter, S. A. (2016). *Introduction to Bioplastics Engineering*. Merrimack, New Hampshire: Editorial Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39396-6.00004-X>

Assunta, M., Pascale, R., Martenilli, G., Bondoni, M. & Bianco, G. (2021) Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. *Polymers*. Vol 13 (1) 158. <https://doi.org/10.3390/polym13010158>

Aubry, J., & Schorsh, G. (2004). *Formulación*. [PDF] Recuperado de: https://firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S011A_Formulacion.pdf

Avantor (2011) *Hoja de Seguridad. Bicarbonato de Sodio*. [PDF] Recuperado de: https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/BICARBONATO+DE+SODIO+_AVANTOR.pdf/e708f092-d863-4b57-bed0-7f1df546e063?version=1.0

Award, S. (2017). Usage of Watermelon Rind (*Citrullus lanatus*) in Functional Food Production. *Middle East Journal of Applied Sciences*, Vol. 07 (4), 1170-1178. <http://www.curresweb.com/mejas/mejas/2017/1170-1178.pdf>

Bastioli, C., & Bettarini, F. (2020). General characteristics, processability, industrial applications and market evolution of biodegradable polymers. *Handbook of*

Biodegradable Polymers. 147-182. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9781501511967-006>

Bátori, V. (2019) *Fruit Wastes to Biomaterials*. (Tesis de Doctorado) Boras, Alemania. Universidad de Boras. Recuperado de: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1270941/FULLTEXT01.pdf>

Beckstorm, B. D. (2019). *Bioplastic Production from Microalgae with Fuel Co-Products: A Technoeconomic and Life-Cycle Assessment* (Tesis de postgrado). Colorado: Universidad estatal de Colorado.

British Plastics Federation (2021) *Polymer price index and cost comparisons*. [En Red] Recuperado de: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymer_prices.aspx

Callister, W. (2007) *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. (3ª. Ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté

Calmon-Decriaud, A., Bellon-Maurel, V. & Silvestre, F. (1998) Standard Methods for Testing for the Aerobic Biodegradation of Polymeric Materials. *Advances in Polymer Science, Vol 135*. 207-226. http://doi.org/10.1007/3-540-69191-X_3

Cámara del Agro (2014) *Inteligencia de consumo de Productos Agrícolas*. [PDF] Guatemala: CABI. Recuperado de: <https://www.camaradelagro.org/wp-content/uploads/sites/24/2017/07/Inteligencia-de-Consumo-de-Productos-Agr%C3%ADcolas-Mercado-Nacional.pdf>

Cardona, K. (2019) *Elaboración de bioplástico con residuos orgánicos a base de cáscara de mango, naranja o plátano verde para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos*. (Tesis de pregrado) Guatemala, Guatemala. Universidad Rafael Landívar

Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). *Bioplástico a base de la cáscara del plátano*. *Revista de Iniciación Científica*. Universidad Tecnológica de Panamá, 34-37.

Chen, Y. J. (2013). Advantages of Bioplastics and Global Sustainability. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 420. 209-214.
<http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.420.209>

Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021) *Pliegos Tarifarios* [En Red] Guatemala. Recuperado de: <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>

Congreso de la República de Guatemala (1997) *Decreto Numero 90-97. Código de Salud*. [PDF] Guatemala. Recuperado de: http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/legislations/pdf/gt/decreto_congresional_90-97.pdf

Contreras, L., Vargas, L. & Ríos, R. (2018) *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos*. (24 ed.) Ediciones de la U. Bogotá Colombia.

De los Ángeles, A. (2016) *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua*. [Tesis Pregrado] Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>

ECOEMBES (2009). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos*. [PDF] Recuperado de: https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/proyecto_bioplasticos_-_resumen_ejecutivo.pdf

Engineering Technology (s.f.) *Forming and Molding Polymers*. [En Red] Recuperado de: <http://www.manufacturinget.org/home/tech-3421-manufacturing-processes-ii/forming-and-molding-plastics/>

European Bioplastics (2019) *Applications for Bioplastics*. [En Red] Recuperado de: www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/.

European Bioplastics (2020). *Bioplastics Market Data 2019*. [PDF] Berlín: European Bioplastics. Recuperado de: <https://docs.european-bioplastics.org/>

bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2019.pdf

Gálvez, A. (2016). *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (Zea mays)*. Trabajo de graduación. [En Red] Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5102/1/Ana%20Gabriela%20G%C3%A1lvez%20Ar%C3%A9valo.pdf>

Gaonkar, M., Palaskar, P. Navandar, R. (2017) *Production of Bioplastic from Banana Peels*. [En Red] Recuperado de: https://www.worldresearchlibrary.org/up_proc/pdf/1279-15182346031-3.pdf

Garavito, J. (2008). *Identificación de Plásticos*. [PDF] Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de: https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <http://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Grand View Research (2020) *Bioplastics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Biodegradable, Non-biodegradable), By Application (Packaging, Automotive & Transportation, Textile), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027*. [En Red] Recuperado de: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bioplastics-industry>

Iguardia, C. (2013) *Síntesis y Caracterización de Bioplástico a partir de Almidón de Banano Verde (Musa sapientum variedad Cavendish)* [Tesis Pregrado] Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2017) *Manual de manejo agronómico para cultivo de sandía*. [PDF] Chile: INDAP. Recuperado de: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/02%20Manual%20Sandia.pdf>

- Ismayadi, P., Febiani, E. (2020) *The Use of Sodium Alginate with Starch to Make Biodegradable Sachet and Wrap Products as an Alternative Substitute of Plastic*. Vol. 8 (10) <http://dx.doi.org/10.24940/theijst%2F2020%2Fv8%2Fi10%2FST2010-015>
- Lama, J. (2018). *Elaboración de bioplástico aprovechando la pectina presente en la cascara de naranja valencia (citrus x sinensis) reforzado con almidón de yuca a nivel de laboratorio*. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24045>
- Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Progress in polymer science*, 37(1), 106–126. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003>
- Loureiro, L. (2017) *Natural Polymeric Biomaterials: Processing and Properties*. Federal University of Rio Grande do Sul. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.02253-0>
- MAGA (2020) *Serie Histórica de Precios de Frutas*. [PDF] Guatemala: Maga. Recuperado de: <https://precios.maga.gob.gt/series/>
- Torres, J. A., López, A., & Domiguez, M. Á. (2015). Synthesis and characterization of polymers based on citric acid and glycerol: Its application in non-biodegradable polymers. *DYNA*, Vol. 82 (190). 53-59. <http://doi.org/10.15446/dyna.v82n190.42718>
- Mayhuire, E., Cuadros, Y., Miranda, L. & Medina, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, Vol. 85 (2). 231-241.
- Mattoso, L. Moreira, F., Lorevice, M., Otoni, C., Moura, M. Azeredo, H. & McHug, T. (2015) *Bioplastics made of fruit purees*. [En Red] Recuperado de: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/180623/1/Bioplastics-made-up-of-fruit-puree.pdf>

- Mendoza, R. & Velilla, W. (2011) Metodología para la caracterización termo-mecánica de películas plásticas biodegradables. *Prospect*. Vol. 9. 46-51. ISSN: 1692-8261. Recuperado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250979007>
- Merk (2020) *Ficha de Datos de Seguridad. Sodio Disulfito*. [PDF] Recuperado de: https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/METABISULFITO+D+E+SODIO_MERCK.pdf/efb80bf4-084e-4ea7-9101-f4af348c5e3c?version=1.0
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2021) *Precios de productos agropecuarios al mayorista en quetzales*. [En Red] Guatemala. Recuperado de: <https://precios.maga.gob.gt/diarios/diarios.html>
- Moore, G. & Saunders, S. (1997) *Advances in Biodegradable Polymers*. Vol. 9. Reino Unido: Rapra Technology Limited.
- Morone, P., Tartiu, V. & Falcone, P. (2015) Assessing the potential of biowaste for bioplastics production through social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, Vol 09, 43-54. <http://doi.org/0.1016/j.jclepro.2014.11.069>
- Plastics Europe (2019) *Plastics – the Facts 2019*. [PDF] Bruselas, Belgica. Recuperado de: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>
- Platt, D. (2006) *Biodegradable Polymers: Market Report*. Shrewsbury, UK: Smithers Rapra Limited.
- Plasticisers Information Centre (2018) *Plastificante*. [En Red] Recuperado de: <https://www.plasticisers.org/resources/faq/>
- Pradhan, S. (2014) *Optimization and characterization of bioplastic produced by Bacillus cereus SE1*. (Tesis de postgrado). Orissa, India. Instituto nacional de tecnología de Rourkela. Recuperado de: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/6224/1/E-18.pdf>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2021) *Diccionario de la lengua española*. (23.^a ed.), versión 23.4 en línea. Recuperado de: <https://dle.rae.es>

- Rijk, R., & Veraat, R. (2010) *Global Legislation for Food Packaging Materials* [PDF] Alemania: Wiley-VCH. Recuperado de: <https://www.worldpackaging.org/Uploads/SaveTheFood/GlobalLegislationFoodPackagingMaterials.pdf>
- Rinaudo, M. (2014) *Biomaterials based on a natural polysaccharide: alginate. Biomaterials Applications*. Vol. 17 (1) 92-96. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70322-5](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70322-5)
- Ritchie, H. & Roser, M. (2018) *Plastic Pollution*. [En Red] Recuperado de: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Rojas, M., Vargas, L. & Tamayo, J. (2008) Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, Vol 9(2),153-161. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315076009>
- Rutiaga, O. (2002) *Elaboración de películas plásticas flexibles a partir de polímeros naturales como una alternativa de empaque y la evaluación de sus propiedades*. [PDF] México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/5603/1/1080124502.PDF>
- Sánchez A., Contreras J., Nevárez G. & Aguilar C. (2015) Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón mexicano. *CyTA - J Food*. Vol 13(1). 17-25.
- Shaghaleh, H., Xu, X. & Wang, S. (2018) Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers and cellulose derivatives. *RSC Advances*, Vol 8, 825-842. 10.1039/C7RA11157F
- Singh, R, J.C. Kumar, K.S. Nandpuri. (1975). A study on the influence of the structural chemical constituents of the skin of watermelon (*Citrullus lanatus* Sch.) fruit on the incidence of its blossom-end-rot and cracking. *The Indian journal of horticulture*. Vol 32. 98-101.

- Solkem S.R.L. (2019) *Ficha de Datos de Seguridad. Alginato de Sodio*. [PDF] Recuperado de: <https://solkem.com.ar/wp-content/uploads/ALGINATO-DE-SODIO-FDS.pdf>
- Theagarajan, R., Dutta, S., Moses, J.A. & Chinnaswamy, A. (2019). *Alginates for Food Packaging Applications*. [En Red] Disponible en: 10.1002/9781119487999.ch11.
- Tonuk, D. (2016) *Making bioplastics: An investigation of material-product relationships* (Tesis de postgrado). Lancaster, Reino Unido: Universidad de Lancaster.
- Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2018) *Marine Plastics*. [PDF] Gland, Switzerland. IUCN Recuperado de: https://www.iucn.org/sites/dev/files/marine_plastics_issues_brief_final_0.pdf
- Universidad Nacional de la Plata (s.f.) *Materiales II: Creep (Fluencia Lenta)* [PDF] Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Creep.pdf>
- Valle, M., Durán, R., Quintero, G & Valera, R. (2020) Caracterización fisicoquímica, químico proximal, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de pulpa y corteza de sandía (*Citrullus lanatus*) Información tecnológica, Vol 31(1) 21-28. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v31n1/0718-0764-infotec-31-01-21.pdf>
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable Polymers. *Materials*, Vol 02 (2), 307–344. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma2020307>
- Yaradoddi, J., Patil, V., Ganachari, S., Banapurmath, N., Hunashyal, A. & Shettar, A. (2016) Biodegradable plastic production from fruit waste material and its sustainable use for green applications. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, Vol 05 (4), 56-66.

IX. ANEXOS

9.1. Anexo A. Glosario

Biodegradabilidad	Tipo de degradación que se lleva a cabo por microorganismos. El material se degrada y se transforma en sustancias más simples como agua, dióxido de carbono y metano. (Calmon-Decriaud, 1998)
Bioplástico	Polímero fabricado con materias primas renovables y que se degrada bajo condiciones ambientales en un período corto de tiempo. (Gálvez, 2016)
Celulosa	Polisacárido lineal formado por restos de glucosa unidos mediante enlaces β -1,4 (Castillo, 2005)
Formulación	Conjunto de conocimientos y operaciones empleados cuando se mezclan, asocian o condicionan ingredientes de origen natural o sintético, para obtener un producto comercial (Aubry & Schorsch, 2004)
Plastificación	Proceso en que se ablanda una sustancia por adición de un plastificante o bien mediante calor. (ECOEMBES, 2009)

Plastificante	Es una sustancia que cuando se añade a un material, normalmente a un plástico, da como resultado un producto flexible, resistente y más fácil de manejar. (Plasticisers Information Centre, 2018)
Polímero	Compuestos de alto peso molecular obtenidos por unión repetida de moléculas simples. Las unidades estructurales repetidas se derivan de algunas moléculas simples y reactivas conocidas como monómeros y están unidas entre sí por enlaces covalentes. (McMurry, 2001)
Polisacárido	Unión de 12 o más monosacáridos mediante puentes acetales (Melo, Ruiz & Cuamatzi, 2007)
Resistencia	Se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo. (Limas, M. J. C., 2018).
Síntesis	Proceso de obtención de un compuesto a partir de sustancias más sencillas. (RAE, 2019)

9.2. Anexo B. Datos Originales

Tabla no. 20. Pesos para la elaboración de la pasta de sandía

Tipo de sandía	Masa inicial de cáscara de sandía (g)	Masa de agua agregada (g)	Masa de pasta obtenida (g) ²
Redonda	150 ± 0.5 g	15 ± 0.5 g	146 ± 0.5 g
Ovalada	150 ± 0.5 g	15 ± 0.5 g	142 ± 0.5 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 21. Pesos de materia prima para las diferentes formulaciones probadas

Corrida	Formulación	Cáscara de fruta (g)	Agua (g)	Espesante (g)	Glicerina (g)
1	SR1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g

² La masa faltante se debe a las pérdidas durante los trasvases de materia prima durante el proceso.

1	SO1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO1	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO2	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO3	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO4	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g

1	SO5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO5	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO6	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SR9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SR9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SR9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO7	60 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	3 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
1	SO8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO8	55 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	6 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g

1	SO9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
2	SO9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g
3	SO9	45 ± 0.5 g	20 ± 0.5 g	10 ± 0.5 g	5 ± 0.5 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 22. pH de la pasta de sandía utilizada previo a ingresarlo al horno

Tipo de sandía	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Redonda	6.6	6.6	6.7
Ovalada	6.7	6.6	6.8

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 23. Pesos del bioplásticos seleccionado obtenidos

Formulación	Corrida	Peso
SR7	1	25.74 ± 0.005 g
	2	24.91 ± 0.005 g
	3	24.53 ± 0.005 g
SO7	1	24.92 ± 0.005 g
	2	24.47 ± 0.005 g
	3	25.21 ± 0.005 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 24. Dimensiones del bioplástico obtenido de la formulación SR7

Corrida	Largo	Ancho	Espesor
1	30.9 ± 0.05 cm	22.7 ± 0.05 cm	0.2 ± 0.05 mm
2	30.7 ± 0.05 cm	20.9 ± 0.05 cm	0.2 ± 0.05 mm
3	30.3 ± 0.05 cm	21.6 ± 0.05 cm	0.2 ± 0.05 mm

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 25. Porcentaje de humedad del bioplástico SR7

Corrida	Temperatura	Tiempo de prueba	% Humedad
1	70°C	14.32 min	18.76%
2	80°C	9.67 min	17.94%
3	90°C	7.85 min	18.93%

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 26. Medidas de las películas utilizadas para las pruebas de fluencia lenta.

Largo (cm)	Ancho (cm)
10.0 ± 0.05	5.0 ± 0.05

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 27. Tiempo de ruptura del bioplástico

Dato	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Longitud inicial	7.4 ± 0.05 cm	7.4 ± 0.05 cm	7.5 ± 0.05 cm
Tiempo de ruptura	34min 46.72seg	35min 2.04seg	33min 57.35seg
Peso usado	400 ± 0.5 g	400 ± 0.5 g	400 ± 0.5 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 28. Cambio de longitud del bioplástico

Tiempo (min)	Longitud (cm)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	8.9 ± 0.05	8.8 ± 0.05	9.1 ± 0.05
5	9.4 ± 0.05	9.5 ± 0.05	9.3 ± 0.05
10	9.9 ± 0.05	10.1 ± 0.05	9.8 ± 0.05
15	10.1 ± 0.05	10.4 ± 0.05	10.1 ± 0.05
20	10.3 ± 0.05	10.6 ± 0.05	10.4 ± 0.05
25	10.4 ± 0.05	10.8 ± 0.05	10.5 ± 0.05
30	10.5 ± 0.05	10.9 ± 0.05	10.7 ± 0.05
35	---	11.1 ± 0.05	---

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 29. Tiempo de ruptura del plástico comercial

Dato	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Longitud inicial	7.4 ± 0.05 cm	7.6 ± 0.05 cm	7.4 ± 0.05
Tiempo de ruptura	45min 27.40seg	50min 58.46seg	46min 18.63seg
Peso usado	400 ± 0.5 g	400 ± 0.5 g	400 ± 0.5 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 30. Cambio de longitud del plástico comercial

Tiempo (min)	Longitud (cm)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	9.7 ± 0.05	9.9 ± 0.05	9.6 ± 0.05
5	10.3 ± 0.05	10.3 ± 0.05	10.4 ± 0.05
10	10.8 ± 0.05	10.9 ± 0.05	11.1 ± 0.05
15	11.2 ± 0.05	11.1 ± 0.05	11.3 ± 0.05
20	11.3 ± 0.05	11.2 ± 0.05	11.4 ± 0.05
25	11.4 ± 0.05	11.4 ± 0.05	11.6 ± 0.05
30	11.5 ± 0.05	11.4 ± 0.05	11.7 ± 0.05
35	11.7 ± 0.05	11.6 ± 0.05	11.7 ± 0.05
40	12.2 ± 0.05	11.9 ± 0.05	12.3 ± 0.05

45	12.4 ± 0.05	12.0 ± 0.05	12.6 ± 0.05
50	-	12.5 ± 0.05	-

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 31. Medidas de las películas utilizadas para determinar la resistencia

Largo (cm)	Ancho (cm)
20.0 ± 0.05	15.0 ± 0.05

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 32. Peso máximo que soporta el bioplástico y el plástico comercial.

Material	Peso máximo antes de ruptura (g)
Bioplástico recién elaborado	2430 ± 0.5 g
	2540 ± 0.5 g
	2470 ± 0.5 g
Bioplástico después de 30 días	2010 ± 0.5 g
	1970 ± 0.5 g
	2030 ± 0.5 g
Plástico comercial	3020 ± 0.5 g
	2960 ± 0.5 g
	2940 ± 0.5 g

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 33. Pesos para la prueba de biodegradabilidad en tierra

Día	Peso (g)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	0.82 ± 0.005	0.96 ± 0.005	0.74 ± 0.005
3	0.78 ± 0.005	0.91 ± 0.005	0.71 ± 0.005
7	0.73 ± 0.005	0.84 ± 0.005	0.68 ± 0.005
10	0.70 ± 0.005	0.81 ± 0.005	0.63 ± 0.005
14	0.66 ± 0.005	0.76 ± 0.005	0.59 ± 0.005
21	0.58 ± 0.005	0.65 ± 0.005	0.49 ± 0.005
30	0.46 ± 0.005	0.51 ± 0.005	0.38 ± 0.005

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 34. Pesos para la prueba de biodegradabilidad en agua

Día	Peso (g)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	0.98 ± 0.005	0.85 ± 0.005	0.74 ± 0.005
3	0.92 ± 0.005	0.81 ± 0.005	0.70 ± 0.005
7	0.83 ± 0.005	0.72 ± 0.005	0.63 ± 0.005
10	0.78 ± 0.005	0.66 ± 0.005	0.58 ± 0.005

14	0.67 ± 0.005	0.58 ± 0.005	0.51 ± 0.005
21	0.52 ± 0.005	0.43 ± 0.005	0.38 ± 0.005
30	0.31 ± 0.005	0.24 ± 0.005	0.22 ± 0.005

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 35. Precios de plástico comercial y resina biodegradable

Material	Cantidad	Precio en quetzales
Plástico	1 kg	Q11.61
Resina biodegradable	25 kg	Q1,247.27

Fuentes: British Plastic Federation (2021) & Biopack Tech Co. (2021)

9.3. Anexo C. Datos Calculados

Tabla no. 36. Porcentajes de aditivos en formulación seleccionada

Aditivo	Porcentaje
Pasta de cáscara de sandía	68.2%
Agua	22.7%
Glicerina	5.7%
Agente espesante	3.4%

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 37. Rendimiento del bioplástico SR7

Corrida	Rendimiento	Rendimiento promedio
1	42.90%	41.77 ± 2.5619%
2	41.52%	
3	40.88%	

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 38. Tiempo promedio de ruptura

Material	Tiempo de ruptura (min)	Desviación estándar
Bioplástico	34.58 ± 1.3996	0.5634
Plástico comercial	47.58 ± 7.3779	2.7000

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 39. Deformación del bioplástico

Tiempo (min)	Aumento de longitud (cm)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	15 ± 0.07	14 ± 0.07	16 ± 0.07
5	20 ± 0.07	19 ± 0.07	19 ± 0.07
10	25 ± 0.07	25 ± 0.07	24 ± 0.07
15	27 ± 0.07	28 ± 0.07	27 ± 0.07
20	29 ± 0.07	30 ± 0.07	30 ± 0.07
25	30 ± 0.07	32 ± 0.07	31 ± 0.07
30	31 ± 0.07	33 ± 0.07	33 ± 0.07
35	---	35 ± 0.07	---

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 40. Deformación del plástico comercial

Tiempo (min)	Aumento de longitud (cm)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	2.3 ± 0.07	2.3 ± 0.07	2.2 ± 0.07
5	2.9 ± 0.07	2.7 ± 0.07	3.0 ± 0.07
10	3.4 ± 0.07	3.3 ± 0.07	3.7 ± 0.07

15	3.8 ± 0.07	3.5 ± 0.07	3.9 ± 0.07
20	3.9 ± 0.07	3.6 ± 0.07	4.0 ± 0.07
25	4.0 ± 0.07	3.8 ± 0.07	4.2 ± 0.07
30	4.1 ± 0.07	3.8 ± 0.07	4.3 ± 0.07
35	4.3 ± 0.07	4.0 ± 0.07	4.3 ± 0.07
40	4.8 ± 0.07	4.3 ± 0.07	4.9 ± 0.07
45	5.0 ± 0.07	4.4 ± 0.07	5.2 ± 0.07
50	-	4.9 ± 0.07	-

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 41. Peso máximo promedio que soporta el bioplástico y el plástico comercial.

Material	Peso promedio que soporta (kg)	Desviación estándar
Bioplástico recién elaborado	2.48 ± 0.1383	55.676
Bioplástico después de 30 días	2.00 ± 0.0759	30.5505
Plástico comercial	2.97 ± 0.1034	41.6333

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 42. Resistencia del bioplástico y del plástico comercial.

Material	Resistencia (Pa)	Promedio (Pa)	Desviación estándar
Bioplástico recién elaborado	830.58	810.96 ± 45.2277	18.2066
	807.69		
	657.27		
Bioplástico después de 30 días	657.27	655.09 ± 24.8166	9.9900
	644.19		
	633.81		
Plástico comercial	987.54	972.28 ± 33.8193	13.6141
	967.92		
	961.38		

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 43. Masa perdida por el bioplástico durante prueba de degradabilidad en tierra

Día	Masa perdida (g)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3	0.04 ± 0.07	0.05 ± 0.07	0.03 ± 0.07
7	0.09 ± 0.07	0.12 ± 0.07	0.06 ± 0.07
10	0.12 ± 0.07	0.15 ± 0.07	0.11 ± 0.07
14	0.16 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.15 ± 0.07
21	0.24 ± 0.07	0.31 ± 0.07	0.25 ± 0.07
30	0.36 ± 0.07	0.45 ± 0.07	0.36 ± 0.07

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 44. Masa perdida por el bioplástico durante prueba de degradabilidad en agua

Día	Masa perdida (g)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3	0.06 ± 0.07	0.04 ± 0.07	0.04 ± 0.07
7	0.15 ± 0.07	0.13 ± 0.07	0.11 ± 0.07
10	0.20 ± 0.07	0.19 ± 0.07	0.16 ± 0.07
14	0.31 ± 0.07	0.27 ± 0.07	0.23 ± 0.07
21	0.46 ± 0.07	0.42 ± 0.07	0.36 ± 0.07

30	0.67 ± 0.07	0.61 ± 0.07	0.52 ± 0.07
----	-------------	-------------	-------------

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 45. Porcentaje de masa perdido en tierra

Día	Porcentaje de masa perdida (%)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3	4.8780	5.2083	4.0541
7	10.9756	12.5000	8.1081
10	14.6341	15.6250	14.8649
14	19.5122	20.8333	20.2703
21	29.2683	32.2917	33.7838
30	43.9024	46.8750	48.6486

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 46. Porcentaje de masa perdido en agua

Día	Porcentaje de masa perdida (%)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3	6.1224	4.7059	5.4054
7	15.3061	15.2941	14.8649
10	20.4082	22.3529	21.6216

14	31.6327	31.7647	31.0811
21	46.9388	49.4118	48.6486
30	68.3673	71.7647	70.2703

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 47. Porcentaje de masa perdido promedio

Día	Tierra		Agua	
	% perdido	Desv. Est.	% perdido	Desv. Est.
3	4.7135	0.59443	5.4112	0.70827
7	10.5279	2.22992	15.1550	0.25133
10	15.0413	0.51848	21.4609	0.98226
14	20.2053	0.66295	31.4928	0.36263
21	31.7812	2.30062	48.3331	1.26633
30	46.4754	2.39821	70.1341	1.70279

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 48. Ecuaciones de las curvas de pérdida de peso obtenidas por la gráfica 2

Medio	Ecuación
Tierra	$y = 1.5462x - 0.4465$
Agua	$y = 2.2986x$

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 49. Tiempo que le llevaría al bioplástico degradarse totalmente

Medio	Tiempo
Tierra	64.96 días
Agua	43.50 días

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 50. Costos de materia prima para la elaboración del bioplástico SR7

Materia Prima	Precio Unitario	Cantidad usada	Costo
Glicerina	Q15/kg	5g	Q0.08
Alginato de sodio	Q200/kg	3g	Q0.60
Bicarbonato	Q6/kg	15g	Q0.09
Metabisulfito	Q30/kg	10g	Q0.30
Agua destilada ³	Q23/18.9L	30mL	Q0.04
Total			Q1.10

Fuentes: Maga (2021), Quimiprova (2021), elaboración propia (2021).

³ Se toma en cuenta el agua utilizada en la formulación, en la solución de bicarbonato y durante la preparación de la cáscara.

Tabla no. 51. Costos indirectos de la elaboración del bioplástico

Equipo	Potencia	Tiempo utilizado	Costo	Costo Total
Estufa	450 W	1.2 h	1.257705 Q/kWh	Q0.62
Licuadaora	300 W	0.5 h		Q0.17
Horno	1.2 kW	3.0 h		Q4.78
Total				Q5.57

Fuente: EEGSA (2022)

Tabla no. 52. Costo de materia prima para la elaboración del bioplástico

Costos de materia prima	Masa promedio elaborada	Costo total por gramo
Q1.10	25.06g	Q0.04

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 53. Costos indirectos para la elaboración del bioplástico

Costos indirectos	Masa promedio elaborada	Costo total por gramo
Q5.57	149.78g	Q0.04

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 54. Costo total por gramo de elaboración a escala laboratorio

Costos directos	Costos indirectos	Costo total por gramo
Q0.04	Q0.04	Q0.08

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla no. 55. Precios de plástico comercial y resina biodegradable por gramo

Material	Precio por gramo
Plástico	Q0.01
Resina biodegradable	Q0.05

Fuente: elaboración propia (2021)

9.4. Anexo D. Muestra de Cálculo

9.4.1. Rendimiento del bioplástico

Se divide la masa del bioplástico entre la masa de la pasta inicial de cáscara de sandía.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa bioplástico}}{\text{masa pasta de cáscara de sandía}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{47.37g}{100g} * 100 = 47.37\%$$

9.4.2. Resistencia mecánica

Se divide la fuerza aplicada, la cual se determina multiplicando la masa colocada en el bioplástico por la gravedad, entre el área de la muestra de bioplástico.

$$\text{Resistencia} = \frac{F}{A} = \frac{m * g}{A}$$

$$\text{Resistencia} = \frac{3.02 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2}{0.03\text{m}^2} = 987.54\text{Pa}$$

9.4.3. Peso perdido durante prueba de biodegradabilidad

Se divide la diferencia del peso inicial y final entre el peso inicial y este se multiplica por 100.

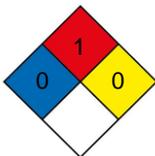
$$\%pérdida = \frac{m \text{ bioplástico}_0 - m \text{ bioplástico}_f}{m \text{ bioplástico}_0} * 100$$

$$\%pérdida = \frac{0.98g - 0.31g}{0.98g} * 100 = 68.37\%$$

9.5. Anexo E. Fichas de Seguridad

9.5.1. Ficha de seguridad del Alginato de Sodio

Tabla no. 56. Ficha de seguridad del alginato de sodio

		NOMBRE			FÓRMULA	
MSDS		Alginato de Sodio			C ₆ H ₇ O ₆ Na	
	Criterio de seguridad	Color	Valor	Característica	Masa Molar	198.11 g/mol
	Inflamabilidad	Red	1	< 93°C	ph	6.8 - 8
	Toxicidad	Blue	0	Sin riesgo	Punto de Fusión	ND
	Reactividad	Yellow	0	Estable	Solub. En agua	Soluble
	Q: Producto Químico	Blanco			Densidad relativa	ND
INFLAMABILIDAD		IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO				
<p>Agentes extintores: agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco, dióxido de carbono.</p> <p>Productos peligrosos por combustión: óxidos de carbono.</p> <p>Equipo de protección especial: equipo de respiración autónomo.</p>		<p>Apariencia: polvo o gránulos amarrados.</p> <p>Sinónimos: sal sódica del ácido alginico.</p> <p>Usos recomendados: uso profesional.</p> <p>Información general: no es una sustancia peligrosa.</p>				
TOXICIDAD		EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL				
<p>Por ingestión: No disponible.</p> <p>Por Inhalación: No disponible.</p> <p>Contacto con la piel: No disponible.</p> <p>Contacto con los ojos: No disponible.</p>		<p>Protección respiratoria: no es necesaria.</p> <p>Protección ocular: gafas protectoras.</p> <p>Protección dérmica: guantes, ropa adecuada.</p> <p>Ventilación: proveer ventilación adecuada.</p>				
REACTIVIDAD		CONSIDERACIONES ANTE EMERGENCIAS				
<p>Reactividad: No disponible.</p> <p>Estabilidad: estable bajo condiciones de almacenamiento recomendadas.</p> <p>Incompatibilidad: agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes y bases fuertes.</p> <p>Productos peligrosos de la descomposición: óxidos de carbono.</p>		<p>Por ingestión: enjuagar la boca con agua.</p> <p>Por Inhalación: trasladar a un lugar con aire fresco.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante agua y jabón.</p> <p>Contacto con los ojos: lavar con abundante agua.</p>				

Fuente: Solkem S. (2019)

9.5.2. Ficha de seguridad del Bicarbonato de Sodio

Tabla no. 57. Ficha de seguridad del bicarbonato de sodio

		NOMBRE			FÓRMULA	
MSDS		Bicarbonato de Sodio			NaHCO ₃	
	Criterio de seguridad	Color	Valor	Característica	Masa Molar	84.0 g/mol
	Inflamabilidad	Red	0	No se inflama	ph	8.6
	Toxicidad	Blue	1	Poco peligroso	Punto de Fusión	109°C
	Reactividad	Yellow	0	Estable	Solub. En agua	9.6g/100mL
	Q: Producto Químico	White		Blanco	Densidad relativa	2.159
INFLAMABILIDAD				IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
<p>Agentes extintores: CO₂, polvo extintor o chorro de agua rociada.</p> <p>Productos peligrosos por combustión: por encima de 100°C puede causar niveles peligrosos de anhídrido carbónico.</p> <p>Equipo de protección especial: aparato de respiración autónomo con mascarilla facial completa y traje protector completo.</p>				<p>Apariencia: sólido blanco cristalino inodoro.</p> <p>Sinónimos: bicarbonato de sosa, bicarbonato sódico, carbonato ácido de sodio</p> <p>Usos recomendados: agente alcalinizante.</p> <p>Información general: sustancia no tóxica para la salud</p>		
TOXICIDAD				EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		
<p>Por ingestión: no se prevé efectos adversos. La ingestión en grandes cantidades puede causar diarrea.</p> <p>Por Inhalación: puede causar irritación en las membranas mucosas.</p> <p>Contacto con la piel: puede causar irritación en la piel e hipersensibilidad.</p> <p>Contacto con los ojos: puede causar irritación, conjuntivitis química, lagrimeo y dolor.</p>				<p>Protección respiratoria: para personas sensibles, suministrar respirador.</p> <p>Protección ocular: gafas de seguridad.</p> <p>Protección dérmica: guantes de carnaza o PVC y ropa protectora.</p> <p>Ventilación: ventilación local y general</p>		
REACTIVIDAD				CONSIDERACIONES ANTE EMERGENCIAS		
<p>Reactividad: básico.</p> <p>Estabilidad: estable bajo condiciones normales.</p> <p>Incompatibilidad: reacciona en contacto con los ácidos, liberando CO₂</p> <p>Productos peligrosos de la descomposición: CO, CO₂, Na₂O.</p>				<p>Por ingestión: enjuagar la boca con abundante agua fresca.</p> <p>Por Inhalación: trasladar a un área abierta con aire fresco.</p> <p>Contacto con la piel: lavar inmediatamente con abundante agua.</p> <p>Contacto con los ojos: enjuagar con agua durante 15 minutos, manteniendo los párpados abiertos.</p>		

Fuente: Avantor (2011)

9.5.3. Ficha de seguridad del Metabisulfito de sodio

Tabla no. 58. Ficha de seguridad del metabisulfito de sodio

		NOMBRE			FÓRMULA	
MSDS		Metabisulfito de Sodio			Na ₂ S ₂ O ₅	
	Criterio de seguridad	Color	Valor	Característica	Masa Molar	190.11 g/mol
	Inflamabilidad	Red	0	No se inflama	ph	4.5
	Toxicidad	Blue	2	Peligroso	Punto de Fusión	300°C
	Reactividad	Yellow	0	Estable	Solub. En agua	650 g/L
	Q: Producto Químico	White		Blanco	Densidad relativa	1.48 g/mL
INFLAMABILIDAD				IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
<p>Agentes extintores: se recomienda polvo seco.</p> <p>Productos peligrosos por combustión: puede desprender gases peligrosos.</p> <p>Equipo de protección especial: equipo respiratorio autónomo.</p>				<p>Apariencia: sólido cristalino incoloro o blanco.</p> <p>Sinónimos: sodio disulfito, sodio metabisulfito, bisulfito de sodio.</p> <p>Usos recomendados: análisis químico, conservante de alimentos, producción farmacéutica.</p> <p>Información general: sustancia peligrosa.</p>		
TOXICIDAD				EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		
<p>Por ingestión: nocivo, irritación de las membranas mucosas.</p> <p>Por Inhalación: irritación de las vías respiratorias, dolor de garganta, dificultad para respirar, congestión.</p> <p>Contacto con la piel: irritación, picazón, dermatitis.</p> <p>Contacto con los ojos: irritación de las membranas mucosas.</p>				<p>Protección respiratoria: en presencia de polvo, filtro tipo P2.</p> <p>Protección ocular: gafas de seguridad.</p> <p>Protección dérmica: ropa adecuada, guates de caucho nitrilo y botas.</p> <p>Ventilación: sistema de ventilación por aspiración general o local.</p>		
REACTIVIDAD				CONSIDERACIONES ANTE EMERGENCIAS		
<p>Reactividad: en contacto con ácidos libera gases tóxicos.</p> <p>Estabilidad: estable bajo condiciones normales.</p> <p>Incompatibilidad: ácidos fuertes.</p> <p>Productos peligrosos de la descomposición: óxidos de azufre.</p>				<p>Por ingestión: beber agua (max. 2 vasos).</p> <p>Por Inhalación: trasladar a un lugar con aire fresco.</p> <p>Contacto con la piel: quitar prendas contaminadas, lavar con abundante agua o ducharse.</p> <p>Contacto con los ojos: aclarar con abundante agua.</p>		

Fuente: Merk (2020)

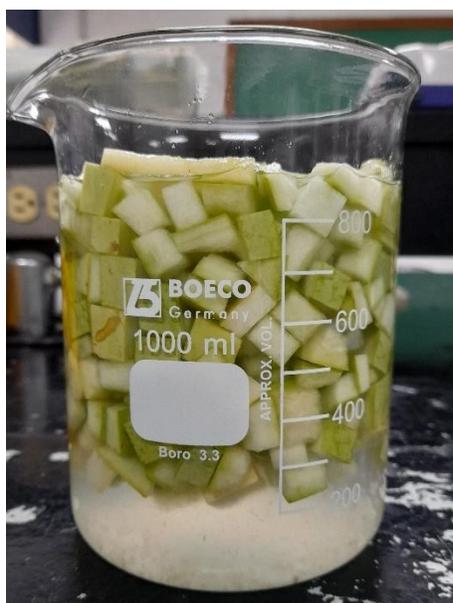
9.6. Anexo F. Figuras

Figura no. 10. Cáscara de sandía redonda utilizada como materia prima



Fuente: elaboración propia (2021).

Figura no. 11. Cáscara de sandía redonda cortada y sumergida en antioxidante



Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 12. Calentamiento de la cáscara de sandía en agua hirviendo



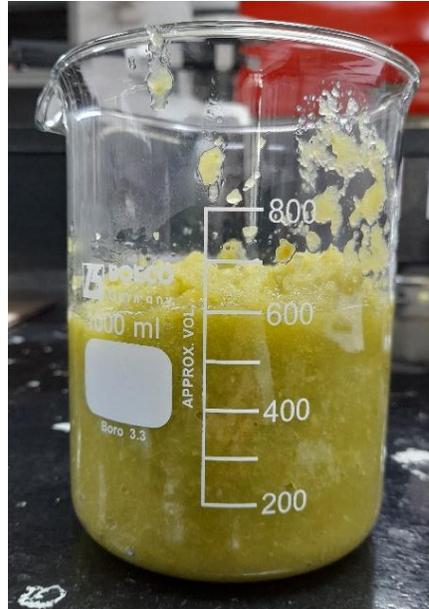
Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 13. Secado de la cáscara se sandía al aire



Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 14. Pasta de sandía redonda obtenida



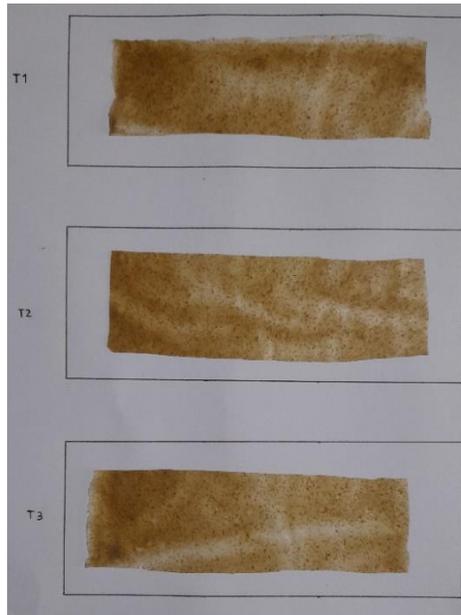
Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 15. Muestras del bioplástico elaborado con la formulación seleccionada.



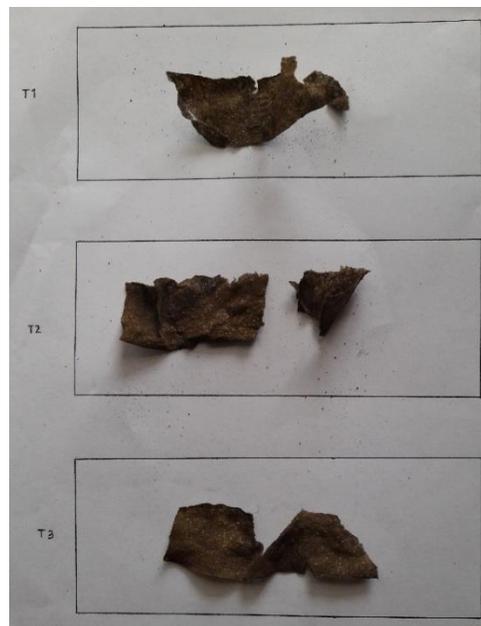
Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 16. Muestras utilizadas para la prueba de biodegradabilidad en tierra.



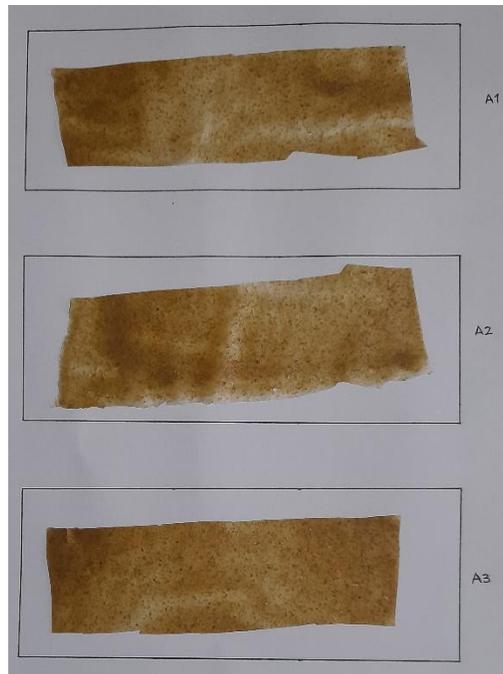
Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 17. Muestras obtenidas en la prueba de biodegradabilidad en tierra.



Fuente: elaboración propia (2021)

Figura no. 18. Muestras utilizadas para la prueba de biodegradabilidad en agua.



Fuente: elaboración propia (2021)