

**ELABORACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE PECTINA EXTRAÍDA DE
LOS RESIDUOS DEL MARACUYÁ**

CAROLINA RINCÓN BOCANEGRA

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

Dany José Cárdenas Romay

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Dany José Cárdenas Romay

Director de tesis

Jurado 1

Jurado 2

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones.

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

DR. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACIAS RODRIGUEZ

Decana de Facultad Ingenierías.

ING. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Directora Programa de Ingeniería Química.

ING. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

A mis papás Edilberto Rincón y Luz Astrid Bocanegra quienes desde el primer día han estado conmigo apoyando y escuchándome en cada paso de mi carrera, de mis sueños, de mis metas y de mis propósitos por más locos que sean. Por ellos culmino otra etapa de mi vida porque sin su apoyo, compañía y amor nada de esto hubiera sido posible. Quiero agradecerle en especial a mi mamá por ser mi compañera de tramos durante el desarrollo de este proyecto dándome ideas para la ejecución de esta tesis.

Quiero agradecerles a mis hermanos Johanna, Nestor y Andrés por ser mis ejemplos a seguir, por ser las personas que me motivan día a día a superarme.

A mi novio Alejandro por estar siempre conmigo ayudándome, dándome su amor, llenándome de consejos y motivándome cada día a luchar por mis sueños. Gracias por haber sido mi compañero de carrera todos estos años, por apoyarme en cada clase que vimos juntos y por entenderme mejor que nadie.

Por último, quiero agradecerles a mis amigas Daniela Rengifo y Lorena Romero con quienes viví momentos inolvidables en el transcurso de estos 5 años, donde tuvimos risas, tristezas y muchos tramos juntas.

Carolina Rincón Bocanegra

AGRADECIMIENTOS

Quiero inicialmente agradecerle a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para terminar este proyecto de grado y mi carrera profesional de ingeniería química.

A mi director Dany José Cárdenas Romay por su dedicación, paciencia, calidad humana y colaboración en el desarrollo de este proyecto, por estar siempre dispuesto a ayudarme con cada una de mis dudas en la ejecución de trabajo de grado, por brindarme sus conocimientos y por ser parte de mi crecimiento personal y profesional. A la Universidad de América y cada uno de los profesores que hicieron parte de mi formación profesional, por brindarme una formación ética y académica de calidad.

Finalmente, a cada uno de los integrantes del laboratorio de ingeniería química de la universidad de América y a la ingeniera Jenny Hernández.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES	17
1.1. Residuos agroindustriales	17
1.2. Generalidades del maracuyá	17
<i>1.2.1 Producción del maracuyá</i>	20
<i>1.2.2 Cáscara de maracuyá</i>	21
<i>1.2.2 Mesocarpio del maracuyá</i>	22
1.2. Generalidades de las pectinas	23
1.3. Clasificación de las pectinas según su índice de gelificación	24
<i>1.4.1. Pectinas con alto contenido de metoxilo</i>	24
<i>1.4.2. Pectinas con bajo contenido de metoxilo</i>	25
<i>1.3.4. Propiedades fisicoquímicas de la pectina</i>	26
1.4. Métodos de extracción de pectinas	28
<i>1.5.1. Hidrólisis ácida</i>	28
1.5. Generalidades de las biopelículas	29
1.6. Propiedades de las biopelículas	30
<i>1.7.1. Propiedades mecánicas</i>	30
<i>1.6.3. Propiedades físicas</i>	32
2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE MARACUYÁ	34
2.1. Determinación del pH de la materia prima	34
2.2. Porcentaje humedad en la caracterización de la materia prima	37
2.3. Caracterización cuantitativa de cenizas en la materia prima	39

2.4 Determinación de los sólidos solubles	41
2.5 Determinación índice de acidez	43
3. EXTRACCIÓN DE PECTINAS DE LA CÁSCARA DE MARACUYA	46
3.1. Proceso de pretratamiento de la materia prima	47
3.2. Extracción química	49
3.4. Rendimiento de la extracción	53
3.5. Caracterización de las pectinas obtenidas	57
3.5.1 <i>Determinación del peso equivalente y acidez libre</i>	57
3.5.2 <i>Determinación del contenido de metoxilo</i>	61
3.5.3 <i>Determinación del grado de esterificación (GE)</i>	63
3.2.4 <i>Determinación del ácido anhídrido galacturónico</i>	65
3.2.5 <i>Determinación del porcentaje de humedad.</i>	66
4. SINTESIS DE UNA BIOPELÍCULA USANDO LAS PECTINAS EXTRAÍDAS DE LA CÁSCARA DE MARACUYA	69
4.1. Caracterización de las biopelículas	76
4.1.1. <i>Densidad</i>	76
4.1.2. <i>Espesor</i>	78
4.1.3. <i>Solubilidad</i>	80
4.1.4. <i>Resistencia a la tracción</i>	82
5. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA BIOPELÍCULA	90
5.1. Diagrama de bloques del proceso	90
5.2. Diagrama de flujo de procesos PFD	93
5.2.1. <i>Balance de materia</i>	93
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100

BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	110

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Representación general del maracuyá	18
Figura 2. Representación de la exportación de maracuyá	20
Figura 3. Representación de la estructura molecular de la pectina	23
Figura 4. Representación de la estructura molecular de las pectinas con alto índice de metoxilo	24
Figura 5. Representación de la estructura molecular de las pectinas con bajo índice de metoxilo	25
Figura 6. Clasificación de las pectinas según su contenido de metoxilo	27
Figura 7. Etapas de hidrólisis ácida para la obtención de pectinas	29
Figura 8. Probeta utilizada en ensayos de tracción	31
Figura 9. Representación del diagrama deformación vs tensión en materiales sólidos plásticos	32
Figura 10. Representación de la escala colorimetría del pH	35
Figura 11. Proceso de adecuación de los residuos de maracuyá	47
Figura 12. Pretratamiento de la cascara de maracuyá	49
Figura 13. Adecuación del pH de la solución de ácido clorhídrico y proceso de calentamiento	50
Figura 14. Proceso de hidrólisis ácida para la obtención de pectinas	51
Figura 15. Proceso de filtración del hidrolizado	51
Figura 16. Proceso de precipitación de la pectina	52
Figura 17. Proceso de filtración de la pectina	52
Figura 18. Proceso de secado de la pectina	53
Figura 19. Determinación del peso equivalente y acidez libre	58
Figura 20. Determinación del contenido de metoxilo	61
Figura 21. Esquema para el proceso de elaboración de una biopelícula a partir de pectinas	70
Figura 22. Prueba blanco para la obtención de una biopelícula	71
Figura 23. Determinación de la densidad de forma experimental	76
Figura 24. Pie de ley digital Marca Calipers	79
Figura 25. Etapas de la prueba de solubilidad	81
Figura 26. Maquina Universal de ensayos Shimadzu	83
Figura 27. Ensayo de tensión en probetas antes del ensayo mecánico	85
Figura 28. Ensayo de tensión en probeta con ruptura	85

Figura 29. Ensayo de tensión en probeta con alto grado de elongación	86
Figura 30. Probeta de ensayo que presento ruptura	86
Figura 31. Gráfica de la tensión máxima soportada por la probeta con generación de ruptura	88
Figura 32. Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta con generación de ruptura	89
Figura 33. Diagrama global del proceso de obtención de una biopelícula	90
Figura 34. Diagrama BFD para la producción de biopelículas a partir de las pectinas de la cáscara de maracuyá	91
Figura 35. Balance de masa para el lavado del acondicionamiento de residuos	93
Figura 36. Diagrama PFD para la producción de biopelículas a partir de las pectinas de la cáscara de maracuyá	97

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición fisicoquímica del maracuyá	19
Tabla 2. Representación de los mayores productores de maracuyá	21
Tabla 3. Caracterización de la cascara de maracuyá	22
Tabla 4. Determinación del pH de la cascara de maracuya de diferentes muestras	36
Tabla 5. % Humedad de la cascara de maracuya de diferentes muestras	39
Tabla 6. % Cenizas de la cascara de maracuya de diferentes muestras	41
Tabla 7. % Solido solubles de la cascara de maracuya de diferentes muestras	42
Tabla 8. % Índice de acidez de la cascara de maracuya de diferentes muestras	44
Tabla 9. Diseño de experimentos extracción de pectinas	46
Tabla 10. Rendimiento de pectina obtenida con base al diseño de experimentos por hidrólisis ácida	54
Tabla 11. Determinación del peso equivalente de la pectina extraída	59
Tabla 12. Determinación de la acidez libre de la pectina extraída	60
Tabla 13. Determinación del metoxilo de la pectina extraída	62
Tabla 14. Determinación del grado de esterificación de la pectina extraída	64
Tabla 15. Determinación del ácido anhídrido de la pectina extraída	66
Tabla 16. % Humedad de las pectinas obtenidas de la cascara de maracuyá	68
Tabla 17. Formulación de la prueba blanco	71
Tabla 18. Formulación preliminar para elaborar las películas biodegradables	72
Tabla 19. Resultados preliminares para elaborar las películas biodegradables	73
Tabla 20. Diseño de experimentos final para la elaboración de las biopelículas	74
Tabla 21. Formulación preliminar para elaborar las películas finales	75
Tabla 22. Densidad de las películas obtenidas a partir del diseño	77
Tabla 23. Densidad típica de algunos plásticos convencionales	78
Tabla 24. Espesor promedio de la biopelícula obtenida	79
Tabla 25. Porcentajes de solubilidad para cada ensayo	82
Tabla 26. Dimensiones de las muestras para el ensayo de tracción	84
Tabla 27. Resultados estrés máximo y porcentaje de tensión para cada ensayo	87
Tabla 28. Listas de corrientes del proceso	92
Tabla 29. Balance de materia del proceso de la corriente 1 hasta la 10	95

Tabla 30. Balance de materia del proceso de la corriente 11 hasta la 20	95
Tabla 31. Balance de materia del proceso de la corriente 21 hasta la 30	96
Tabla 32. Balance de materia del proceso de la corriente 31 hasta la 34	96

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se muestra la elaboración a escala experimental de una biopelícula tomando como base de diseño el uso de pectinas extraídas de los residuos del maracuyá, con el propósito de mitigar el efecto causado por los desechos generados por las industrias de alimentos, de igual forma se busca contribuir con el medio ambiente a partir de la disminución del uso de plásticos convencionales los cuales generan gran contaminación a la atmósfera, las aguas y los suelos. Para la formulación de las biopelículas se trabajó con un diseño experimental factorial donde se varió el pH y el tiempo de extracción de pectinas con diseño 3×2 ; donde el factor controlable del proceso es el pH y el tiempo de extracción, con una variable de respuesta del rendimiento del proceso de extracción por el método de hidrólisis ácida. A partir de los resultados obtenidos en la extracción de pectinas se elaboraron las biopelículas y fueron seleccionadas aquellas con mejor rendimiento.

Las biopelículas fueron sintetizadas a partir del método de vaciado en placas planas realizando un diseño de experimentos con la formulación a partir de pectina, agua, glicerol y alcohol polivinílico. Los resultados mostraron que la biopelícula con mejor desempeño siguió una formulación de 25% de pectina, 65% de glicerina y 10% de alcohol polivinílico, dicha conclusión se obtuvo a partir de ensayos de propiedades físicas y mecánicas los cuales demostraron que la biopelícula tiene una tensión máxima de $0,526 \text{ N/mm}^2$ el cual se asemeja a la reportada por el polietileno de baja densidad en un 50,57%.

Finalmente se realizó la propuesta de diseño para la producción de 30000 ton/año de biopelícula, la cual permitiría aprovechar el 25% del total de desecho de maracuyás reportados a 2022 en la ciudad Bogotá.

PALABRAS CLAVES: Biopelícula, Método de extracción, Maracuyá, pectinas, residuos, rendimiento, hidrólisis.

INTRODUCCIÓN

los plásticos sintéticos actualmente representan una de las problemáticas ambientales a nivel global con mayor crecimiento y preocupación debido a los grandes niveles de contaminación ambiental que genera, dado que en la mayoría de los procesos de producción del plástico se utiliza petróleo como materia prima que es no renovable [1]. Los plásticos pueden ser de origen orgánico e inorgánico e incluso una combinación de ambos, los cuales tiene alta durabilidad y pueden tardar más de 100 años en degradarse dependiendo del tipo de material utilizado en su fabricación; se calcula que en todo el mundo se generan 50 kilos al año de plástico por persona[2] .

Una posible alternativa para la solución de esta problemática es el aprovechamiento de residuos orgánicos, entre ellos, los residuos de maracuyá (cáscara y mesocarpio), para la elaboración de bioplástico a través de las pectinas presentes en esta fruta. Las pectinas se encuentran en gran proporción en los residuos agroindustriales ya que suele obtenerse de la cáscara de estos residuos; de igual manera la elaboración de bioplástico de origen natural a través de pectinas y almidón ha sido una de las principales opciones a considerar debido a su alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económica en relación al petróleo [3].

La elaboración de bioplástico busca dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, partiendo del ODS 12 para una producción y consumo responsables debido a que mediante la obtención de este se busca aportar en la disminución de la huella de carbono y de la contaminación generada por la industria del plástico, ya que este sector representa alrededor del 10% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero [4].

Este proyecto busca establecer la metodología requerida para la elaboración de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas de la cáscara de maracuyá obteniendo como resultado un plástico biodegradable con propiedades similares a los plásticos convencionales.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Producir una biopelícula a partir de los residuos del maracuyá (*Passiflora edulis var flavicarpa degener*) mediante la extracción de pectinas.

Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente el maracuyá (*Passiflora edulis var flavicarpa degener*).
- Extraer las pectinas de los residuos del maracuyá variedad (*var flavicarpa degener*).
- Elaborar una biopelícula a partir de la pectina extraída del maracuyá (*Passiflora edulis var flavicarpa degener*).
- Realizar el diseño conceptual para la producción de una biopelícula a partir del maracuyá (*Passiflora edulis var flavicarpa degener*).

1. GENERALIDADES

1.1. Residuos agroindustriales

Son desperdicios no consumibles por los seres humanos, los cuales son obtenidos en las diferentes etapas de los procesos productivos que resultan del contenido de una fruta o verdura a las cuales no se les da otro uso, estos residuos se pueden clasificar como materiales en estado sólido o líquido y se obtienen a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización [5]. Investigaciones realizadas por Peñaranda.L, Montenegro. S & Giraldo. P muestra que, en Colombia en el procesamiento de productos como: café, palma de aceite, caña de azúcar, maíz, arroz, banano, plátano y frutas cítricas producen cerca de 71.943.813 toneladas/año de residuos que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios aumentando así la contaminación ambiental [6].

Estos residuos cuentan con un gran potencial para ser aprovechados en diferentes procesos productivos con el fin de obtener nuevos productos, con un valor agregado económico. Debido a que estos residuos son materiales ricos en lignocelulósicos; pues según la investigación realizada por la revista de la facultad de ciencias básicas de la universidad militar los residuos agroindustriales provenientes de las frutas y verduras poseen un alto contenido de material lignocelulósico, en ese sentido, se reportan en promedio un contenido celulosa y hemicelulosa (entre 75 % y 80 %) [5]. Lo cual representa una condición favorable para la producción de biopelículas, ya que altos contenidos de material lignocelulósico favorecen la producción de ácido d-galacturónico y azúcares componentes principales para la obtención de pectinas.

Además, estos residuos pueden ser utilizados como materias primas y mediante diferentes procesos físicos y químicos como: la molienda húmeda, decantación, secado, tamizado, entre otros. Se pueden obtener pectinas para posteriormente elaborar bioplásticos [7]

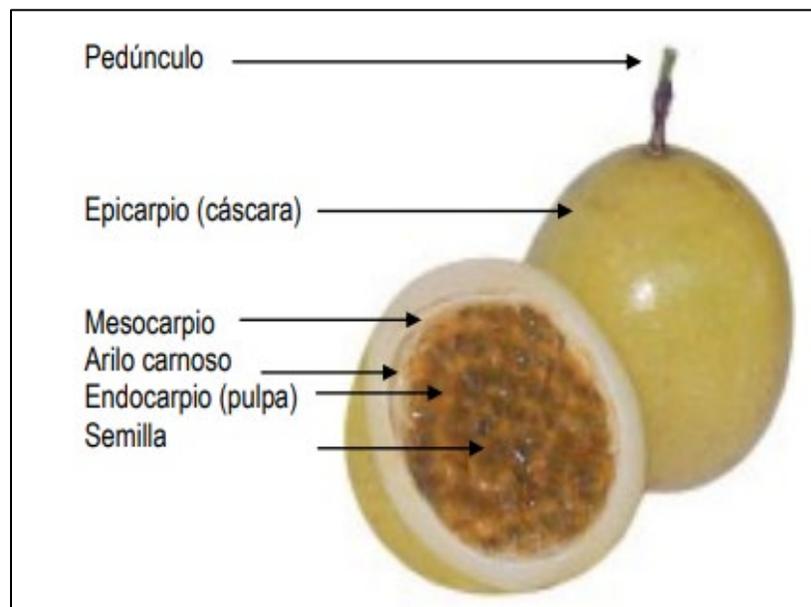
1.2. Generalidades del maracuyá

El maracuyá es una fruta tropical que crece en forma de enredadera, es originaria de la región amazónica del Brasil, de donde fue difundida a Australia. En la actualidad se cultiva en Australia, Nueva Guinea, Sri Lanka, Sud-África, India, Taiwán, Hawái, Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia [8].

Esta fruta pertenece a la familia *Passiflora edulis var flavicarpa degener*, el cual se caracteriza por contener altos niveles de ácido cítrico que le proporcionan el sabor ácido a la fruta, en cuanto a sus necesidades ambientales este requiere altitudes que van de 300 a 1000 metros sobre el nivel del mar [9]. El fruto se caracteriza por ser rico en hidratos de carbono, ácidos orgánicos y vitamina. De igual manera es una fuente de fibras solubles e insolubles y cuenta con gran proporción de pectinas en la cáscara de la fruta pues está constituida por la cáscara la cual aporta el 50 - 60% del peso del fruto y el resto pulpa (arilo) y jugo (30 - 40%), amarillo y aromático y semillas (10%) [8].

Figura 1.

Representación general del maracuyá.



Nota. Esta figura representa como se encuentra constituido del maracuyá *Passiflora edulis var flavicarpa degener*, Tomado de: J. Castro, C. Paredes And D. Muñoz, "Cultivo De Maracuyá (*Passiflora Edulis Sims F. Flavicarpa Deg.*)," Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009-, 2010 [18]

El maracuyá es una fruta que cuenta con una composición fisicoquímica en la cual se evidencia la caracterización de esta mediante los resultados de almidón, amilosa, amilopectina, agua, ceniza, grasa y proteína como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1.*Composición fisicoquímica del maracuyá*

Compuesto	Composición
Longitud del fruto (cm)	5,6 ± 0,32
Peso de la fruta (g)	55,3 ± 6,03
Diámetro del fruto (cm)	5,5 ± 0,20
Humedad (g/100)	81,5 ± 0,20
Sólidos solubles totales (Brix)	17,0 ± 0,14
Acidez total (g/100 g)	4,02 ± 0,07
Almidón (g/100 g)	3,0 ± 0,15
Azúcares totales (g/100 g)	11,6 ± 0,13
pH	2,86 ± 0,05
Ácido ascórbico (mg/100 g)	32,0 ± 1,20
Carotenoides totales (g/100 g)	3885 ± 10,21
Contenido de jugo (g/100 g)	33,0 ± 0,15
Contenido de cáscara (g/100 g)	50,0 ± 1,06
Semillas (g/100 g)	13,0 ± 1,10
Residuos de la pulpa (g/100 g)	3,8 ± 0,96

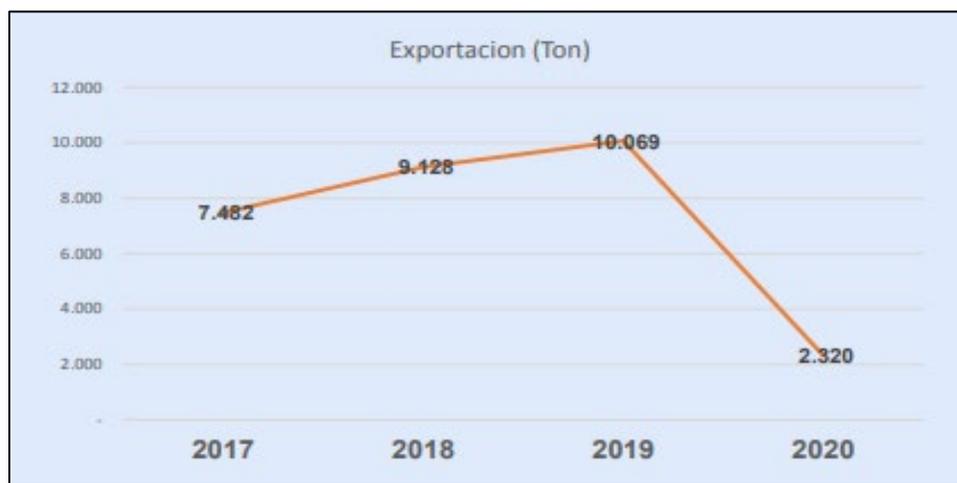
Nota. En la tabla se muestra la composición y caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas del maracuyá Tomado de: Kulkarni, S. G. and P. Vijayanand, (September 1, 2010). "Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa L.*)."
LWT - Food Science and Technology. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643809003120>. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.11.006. [10]

1.2.1 Producción del maracuyá

El maracuyá en los últimos años se ha convertido en una de las frutas más importantes debido a la alta demanda del país en las cadenas de abastecimiento de alimentos y en los mercados mayoristas del país; donde el 30% es consumido en las industrias de alimentos y las familias colombianas. El restante es exportado a países como Estados Unidos, Canadá, Europa, entre otros como se muestra en la figura 2 en la cual se evidencian los procesos de exportaciones de los últimos años [1].

Figura 2.

Representación de la exportación de maracuyá



Nota. La figura representa la exportación en toneladas de maracuyá en los últimos años en Colombia. Tomado de: "Cadena Del Pasifloras Indicadores E Instrumentos," *Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural*, 2021. [11]

El área sembrada del maracuyá en Colombia es cercana a las 20.989 hectáreas para el año 2021 y una producción 227.374 toneladas al año, sus principales departamentos de producción son el Huila, el Valle del Cauca, Córdoba y Meta [11], [1]. Donde los departamentos con mayores rendimientos de cosecha del maracuyá amarillo en Colombia de acuerdo con una serie de estadísticas son los departamentos Santander, Antioquia y Risaralda, seguido por los rendimientos obtenidos por el departamento del Casanare, aunque su área de siembra es muy pequeña en comparación con los demás departamentos. En la tabla 2 se muestran los departamentos principales que producen maracuyá evidenciando la productividad y el rendimiento de la cosecha en los últimos años.

Tabla 2.*Representación de los mayores productores de maracuyá en Colombia*

Departamento	2018			2019		
	Área sembrada	Producción	Rendimiento	Área sembrada	Producción	Rendimiento
Huila	4.205	51.090	14,74	5.482	54.426	14,83
Antioquia	3.400	60.968	18,98	3.329	53.135	19,01
Meta	4.185	57.773	15,61	3.724	35.307	15,81
Valle del cauca	1.114	14.209	14,12	1.080	15.238	14,22
Boyacá	1.439	15.218	10,30	1.532	9.876	10,30
Nariño	983	4.177	6,90	1.005	4.177	7,80
Otros	5.837	73.412	11,26	1.549	73.412	11,35
Total	21.163	276.847	14,16	17.701	245.571	13,33

Departamento	2020			2021		
	Área sembrada	Producción	Rendimiento	Área sembrada	Producción	Rendimiento
Huila	5.023	51.026	15	5.109	52.008	15
Antioquia	3.212	53.135	14	3.634	56.095	14
Meta	3.753	35.307	18	3.645	34.307	18
Valle del cauca	1.132	13.987	15	1.154	14.808	15
Boyacá	1.402	9.876	14	1.345	9.439	14
Nariño	982	4.177	10	982	4.177	10
Otros	4.349	53.412	7	5.120	56.540	7
Total	19.853	220.920	13,10	20.989	227.374	13,10

Nota. La tabla representa la producción de maracuyá en Colombia en cada una de sus regiones en los últimos años. Tomado de: "Cadena Del Pasifloras Indicadores E Instrumentos," *Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural*, 2021. [11]

1.2.2. Cáscara de maracuyá

Es la cáscara o corteza del fruto del maracuyá es una fruta lisa y recubierta de cera natural que le da brillo. El color varía dependiendo del punto de maduración desde el verde al amarillo cuando está más maduro. De igual manera, la cáscara de la variedad amarilla cuenta con aproximadamente 50g por 100 g de cáscara [12], la cual es desechada en el procesamiento de procesos agroindustriales y en las industrias alimenticias.

La cascara de maracuyá es rica en pectina y comúnmente es utilizada en la industria de alimento para la elaboración de mermeladas, en cuanto a las semillas son ricas en aceites, carbohidratos y proteínas [13]

En la siguiente tabla se muestra el contenido de nutrientes y la composición de la cascara de maracuyá amarilla (*P.edulis*).

Tabla 3.

Caracterización de la cascara de maracuyá (P.edulis).

Parámetro	Cantidad en 100 g de cáscara
Cenizas	0,57 g
Lípidos	0,01 g
Proteínas	0,67 g
Fibras	4,33 g
Carbohidratos	6,78 g
Calorías	29,91 kcal
Calcio	44,51 mg
Hierro	0,89 mg
Sodio	43,77 mg
Magnesio	27,82 mg
Zinc	0,32 mg
Cobre	0,04 mg
Potasio	178,40 mg

Nota. En la tabla se muestra la composición y caracterización de algunas propiedades de la cascara del maracuyá Tomado de: A. Veliz, «Caracterización química y estabilidad aeróbica de tres variedades de cáscara de maracuyá.», *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*, pp. 1-73, nov. 2017, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2707> [13]

1.2.2 Mesocarpio del maracuyá

El mesocarpio del maracuyá hace referencia a la parte blanda porosa y blanca situada al interior, está formado por células parenquimatosas, constituyendo la mayor parte de la corteza. Esta parte de la fruta está formada principalmente por pectina, proteínas, enzimas, protopectinasa. De igual manera tiene un grosor aproximadamente de 6mm y es un subproducto residual al cual se le puede dar un aprovechamiento [12].

1.2. Generalidades de las pectinas

Las pectinas están conformadas por gran cantidad de polisacáridos complejos, se encuentran unidas por medio de enlaces glucosídicos (α 1-4) [14], ubicados a nivel celular en la lámina media de la pared celular de las frutas y vegetales, ligados a otros compuestos como son la lignina, celulosa y hemicelulosa [15].

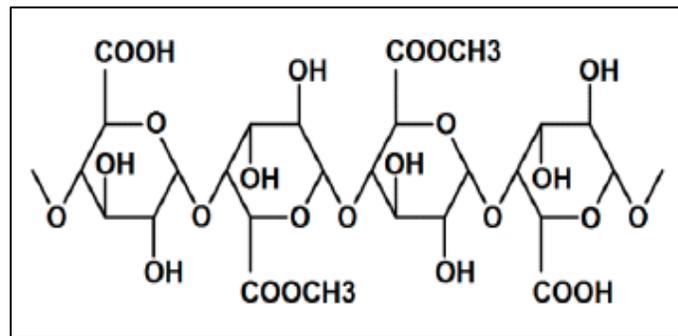
El componente que presentan las pectinas en mayor cantidad es el ácido poli-galacturónico, en presencia de metanol parcialmente esterificados [15]. Hoy en día se ha incrementado el uso de este compuesto para modificar la textura, viscosidad y forma de productos alimenticios, farmacéuticos y plásticos[16].

Las pectinas son obtenidas a partir de material vegetal en los cuales se tiene un gran contenido de este, se pueden encontrar en frutas como manzanas, naranja, maracuyá, piña guayaba y remolacha: dependiendo del proceso de extracción y requerimientos del producto la calidad, rendimiento y contenido de pectinas puede variar [16].

En la figura 4, se muestra una representación gráfica de la estructura molecular que poseen las pectinas donde esta posee un grupo carboxilo esterificado con etanol como se puede observar a continuación

Figura 3.

Representación de la estructura molecular de la pectina



Nota. Esta figura representa la estructura molecular de las pectinas. Tomado de: Franco, Z. and V. Y, (00/2015)."extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO) [17]." *Investigación & Desarrollo*, vol. 1, n.º 15, pp. 65-76, 2015, Accedido: 22 de mayo de 2023.

1.3. Clasificación de las pectinas según su índice de gelificación

Las pectinas se ordenan en tres grupos de acuerdo con el grado de metoxilación que presenten y a su vez dependen de la capacidad de gelación que estas presenten [14].

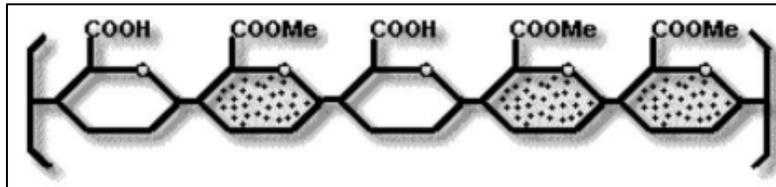
1.4.1. Pectinas con alto contenido de metoxilo

Son aquellas que presentan más del 50% de ácido poli-galacturónico esterificado, reaccionando con la caseína, pero evitando reaccionar en presencia de iones de calcio. Las pectinas de este tipo son útiles para estabilizar compuestos lácteos, se encuentran en gran abundancia en la cáscara de naranja, de igual forma los geles generados por este tipo de pectinas presentan un pH entre 2,8 y 3,5 y presencia de sólidos solubles (azúcares) entre 60 y 70°Bx [18]

A continuación, se muestra la estructura molecular de las pectinas que poseen un alto contenido de metoxilación durante su caracterización como se observa en la figura 4.

Figura 4.

Representación de la estructura molecular de las pectinas con alto índice de metoxilo



Nota. Esta figura representa de manera gráfica la estructura general que tiene las pectinas con alto índice de metoxilo Tomado de: E. C. Henao *et al*, "Extracción Y Caracterización De Pectina A partir De Cáscaras De Plátano Para Desarrollar Un Diseño General Del Proceso De Producción Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Química Cartagena De Indias 2012,".

Se pueden clasificar en dos subgrupos dependiendo el grado de gelificación: Aquellas que logran gelificación rápida en periodo de tiempo no superior a 5 minutos y presentan un grado de esterificación con el metanol entre 68% y 75%. Y las de gelificación lenta donde el proceso excede los 5 minutos y el grado de esterificación con el metanol se encuentra entre 60% y 68%. [19]

1.4.2. Pectinas con bajo contenido de metoxilo

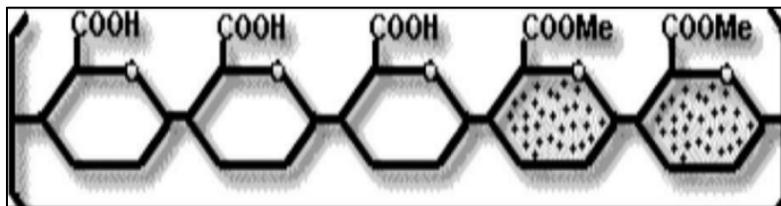
Son aquellas que presentan menos del 50% de ácido poli-galacturónico esterificado, reaccionando y formando geles en presencia de iones de calcio, azúcares y demás ácidos. En este caso, la formación de gel se produce debido a los cationes que forman una red con los enlaces de las moléculas de pectinas adyacentes formando una red tridimensional con el grupo carboxilo de la pectina [20].

Las pectinas de este tipo son útiles para estabilizar compuestos lácteos, se encuentran en gran abundancia en la cáscara de frutas cítricas. De igual forma los geles generados por este tipo de pectinas presentan un pH entre 1 y 7, este valor no influye en la textura del gel ni en la presencia de sólidos solubles que se puede variar entre 0 y 80°Bx, pero la presencia de calcio es un factor importante en la formación de este [18].

Las pectinas de bajo metoxilo se pueden dividir en tres grupos: las de gelificación rápida con alta reactividad de los iones de calcio con un grado de esterificación aproximado del 30%. las de gelificación media con una reactividad intermedia con iones de calcio y contienen un grado de esterificación aproximada del 32% y por último las de gelificación lenta con una reactividad media con iones de calcio y contienen un grado de esterificación aproximadamente del 35% [20]. A continuación, se muestra la estructura molecular de las pectinas que poseen un bajo contenido de metoxilación al momento de realizar la caracterización de las pectinas como se observa en la siguiente figura 5.

Figura 5.

Representación de la estructura molecular de las pectinas con bajo índice de metoxilo



Nota. Esta figura representa de manera gráfica la estructura general que tiene las pectinas con bajo índice de metoxilo Tomado de: E. C. Henao *et al*, "Extracción Y Caracterización De Pectina A partir De Cáscaras De Plátano Para Desarrollar Un Diseño General Del Proceso De Producción Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Química Cartagena De Indias 2012,".

1.3.3. Pectina amidicas

Este tipo de pectinas se han sometido a un proceso de desmetoxilacion en presencia de amoniaco. Durante este proceso algunos grupos éster son reemplazados por grupos amida, esto permite modificar el grado de gelificación de la pectina requiriendo menor cantidad de iones calcio para la reacción [16].

1.3.4. Propiedades fisicoquímicas de la pectina

1.4.4.a. Peso molecular. El peso molecular de la pectina en relación con la longitud de la cadena es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de la disolución y su comportamiento en la gelificación. La determinación precisa del peso molecular es difícil, en parte debido a la heterogeneidad de las muestras y la tendencia de la pectina a adicionarse incluso en condiciones de no gelificación. Los pesos moleculares de las pectinas y su distribución se examinaron sistemáticamente usando un viscosímetro y se encontró que los pesos moleculares oscilan entre 20000 g/mol a 300000 g/mol [21].

1.4.4.b. Acidez de la pectina. En su estado natural, la pectina es neutra en solución. Estas son de naturaleza ácida y esto depende del medio y del grado de esterificación. El pH de la solución de pectina oscila entre 2,8 y 3,4 dependiendo del nivel de proceso de esterificación. De igual manera la pectina tiene una constante de disociación $0,1$ a 10×10^{-4} a 19°C y para ácido monogalacturónico $3,25 \times 10^{-4}$ a 19°C [22].

1.4.4.c. Grado de esterificación. La pectina tiene la capacidad para crear geles. El gel de pectina y azúcar se elabora con pectina de alto contenido de grupos metoxilo en el medio con un pH controlado de 2.8 a 3.5 y una concentración promedio de azúcar de 65% (60% - 70%). Se dice que está a pH 3.4, al menos el 40% del éster metílico está desesterificado. Por lo tanto, será difícil conseguir un gel estable cuando hay una concentración de azúcar del 65%. El exceso de azúcar en latas produce cristalización durante el almacenamiento [22].

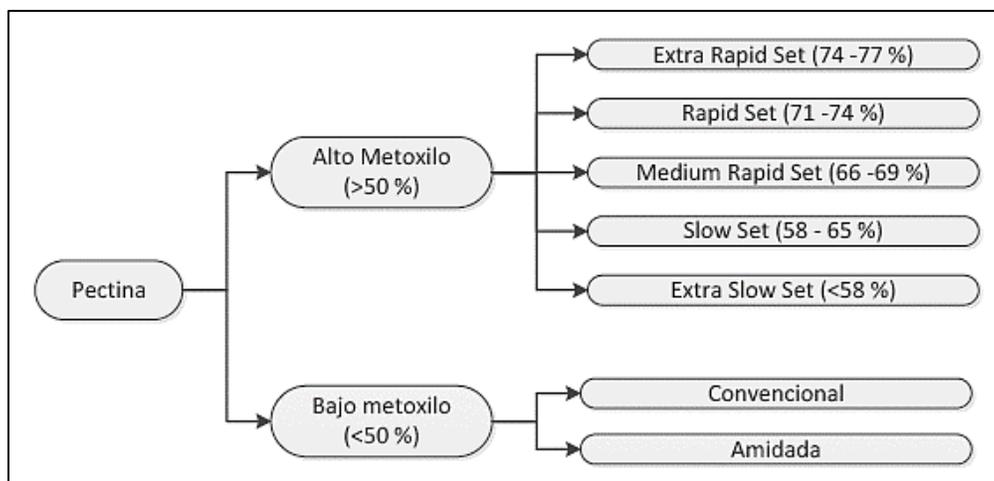
Las pectinas se pueden dividir según su DE en pectina con alto contenido de metoxilo (HMP) (más del 50 % del grupo carboxilo está esterificado) y las pectinas con bajo contenido de metoxilo (LMP) [23], el cual es sumamente importante para determinar el grado solubilidad, capacidad espesante y capacidad de gelificación de las pectinas.

Por ende, las pectinas que tienen menos grupos metoxilo, los geles son mucho menos rígidos y se puede trabajar con sólidos menos solubles, no tan dependientes del pH. De hecho, se pueden obtener buenos geles entre valores de pH 2,5 a 6,5 pero requiere una concentración adecuada de calcio entre 0,01 y 0,1 % p/p húmedo. De igual manera, las pectinas de alto metoxilo molecular forman un agregado a través de enlaces de hidrógeno. Debido a la deshidratación al agregar azúcar hace que se encoja y luego se genere una disociación de grupos carboxilo bajo la acción de ácidos [22].

La siguiente figura muestra la clasificación de las pectinas según su contenido de metoxilo y las condiciones del proceso de extracción dependiendo del tiempo de gelificación de la pectina como se logra observar a continuación:

Figura 6.

Clasificación de las pectinas según su contenido de metoxilo



Nota. Esta figura representa la clasificación que tienen las pectinas según su contenido de metoxilación y gelificación Tomado de: Franco, Z. and V. Y, (00/2015). "extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO) [17]." *Investigación & Desarrollo*, vol. 1, n.º 15, pp. 65-76, 2015,

1.4.4.d. Solubilidad de la pectina .Las pectinas tienen una solubilidad fácil en agua y otras sustancias como formamida, dimetilformamida y glicerinas calientes. Estas a su vez son insolubles en agentes utilizados para su precipitación después de la hidrólisis por tratamiento de materias primas, de igual manera es insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes [22].

Es importante que las pectinas estén completamente disueltas, sean utilizadas en su totalidad y no forme geles o zumos. Para evitar la formación de estos se debe tener en cuenta las condiciones de operación como la velocidad de mezclado y el contenido de sólidos solubles [21].

1.4.4.e. Poder de gelificación. La gelificación de la pectina depende de la cristalización de los fragmentos, su cadena molecular que generalmente está delimitada por una red tridimensional, en la que a través de los puentes de hidrógeno se combina con agua, azúcar y otros elementos. Es importante la presencia de azúcar debido a que es necesaria para la formación de gel mediante un efecto deshidratante, lo cual provoca un cambio en sus cadenas electronegativo. Otros factores importantes son el tamaño y la pureza de las partículas pectinas [24].

1.4. Métodos de extracción de pectinas

En la extracción de pectinas existen diferentes procesos como la extracción utilizando solventes (agua, ácido cítrico, ácido clorhídrico o ácido nítrico) para el método de hidrólisis ácida o asistida por microondas. De igual manera la extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por ultrasonido (UAE) y extracción asistida por enzimas (EAE). Dentro del proceso de extracción de la pectina a partir de residuos de fruta se deben tener presentes ciertas variables como temperatura, pH y tiempo de extracción [8]

1.5.1. Hidrólisis ácida

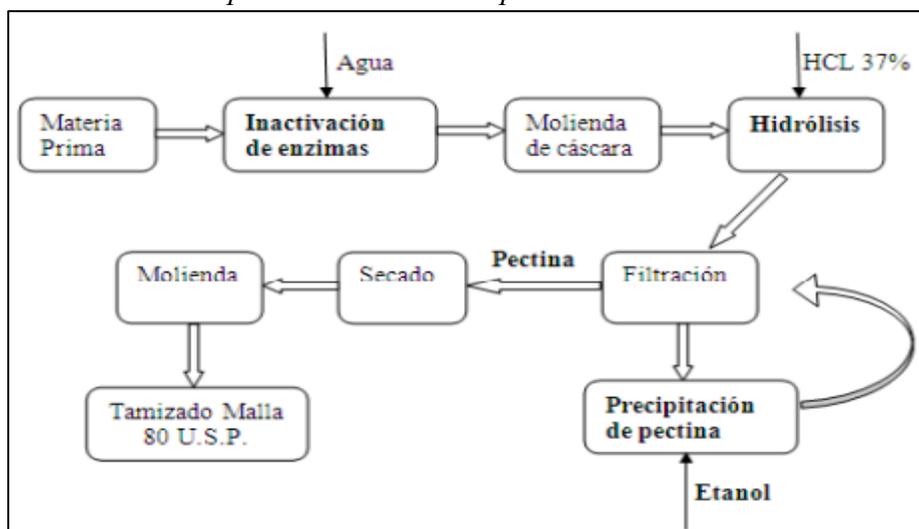
La extracción de pectinas por hidrólisis ácida radica en someter a un proceso de calentamiento el sustrato en medio ácido, para posteriormente realizar un proceso filtración y purificación con la cual se logra aislar la pectina presente en el sustrato, para luego condicionarla en un proceso de secado y molienda para obtener el polvo fino usado a nivel industrial [25].

Se llevan a cabo los métodos de extracción química que consisten principalmente en dos etapas, la primera es la extracción de la pectina mediante hidrólisis empleando ácidos orgánicos como el acético, cítrico, málico y ácidos inorgánicos como el nítrico, clorhídrico, entre otros y la segunda etapa del proceso consiste en el aislamiento de la pectina por precipitación alcohólica [26]. La pectina se obtiene mediante una serie de reacciones que se da con la hidrólisis de la protopectina, un estado primario del polímero en la pared celular primera de la fuente vegetal.

La hidrólisis ácida es el método más utilizado para la extracción de pectinas, independientemente de las materias primas utilizadas al momento de realizar la extracción. Sin embargo, no siempre es la mejor opción ya que a veces se obtiene un bajo rendimiento en cuanto a la cantidad obtenida de pectinas. Por ejemplo, a valores de pH superiores a 2,4 y tiempos de extracción cortos veces alcanzó casi el 7% de rendimiento. Por otra parte, este método se basa en la acidificación a pH 1,5 a 3 en una solución acuosa que contiene fragmentos de materia prima usando catalizadores ácidos para la extracción como lo son el ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico [9].

La siguiente figura muestra el proceso en cada una de las etapas para realizar la hidrólisis ácida de la materia prima hasta la obtención de la pectina luego de la precipitación con etanol como se observa a continuación:

Figura 7.
Etapas de hidrólisis ácida para la obtención de pectinas



Nota. Esta figura representa las etapas de hidrólisis ácida Tomado de: E. C. Henao *et al*, "Extracción Y Caracterización De Pectina A partir De Cáscaras De Plátano Para Desarrollar Un Diseño General Del Proceso De Producción Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Química Cartagena De Indias 2012,".

1.5. Generalidades de las biopelículas

Las biopelículas están constituidas por grupos microorganismos conformados por hongos y bacterias que se encargan de sintetizar una capa densa a base de azúcares y proteínas que protege lo que esté en su interior [27], este material se caracteriza por la presencia de una o más capas

delgadas que pueden ser destinados al uso humano o animal, de igual manera estas biopelículas son capaces de actuar como barreras al transporte de agua, gases y soluciones alimentarias [28].

Por otra parte, estas pueden presentar alto contenido de ácido poligalacturónico soluble en agua manteniendo propiedades de un polímero sintético reforzando sus características físico-mecánicas si se elaboran a base de pectina [29]

El principal uso para este recubrimiento es reemplazar el uso de plástico sintético de un solo uso en la industria de alimentos. La producción de biopelículas parte de la adición de proteínas, polisacáridos y lípidos. Así mismo para obtener un producto estable, viscoso y denso se agrega glicerol, sacarosa y polietilenglicol logrando un recubrimiento similar al plástico convencional [30].

Una de las ventajas del uso de biopelículas es que tienen como objetivo aumentar la vida útil del producto terminado, porque se encargan de preservar las propiedades sensoriales, nutricionales y mecánicas del producto [28].

1.6. Propiedades de las biopelículas

Para desarrollar e implementar las biopelículas es importante conocer las propiedades mecánicas que estas poseen, logrando obtener un recubrimiento apto y de aplicación industrial partiendo de la estructura del material y composición.

1.7.1. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas están directamente relacionadas con la naturaleza del material. La estructura formadora de película y la unión de la matriz polimérica, está relacionada con la distribución inter e intramolecular y la concentración en la estructura de membranas entre las cadenas de proteínas [31].

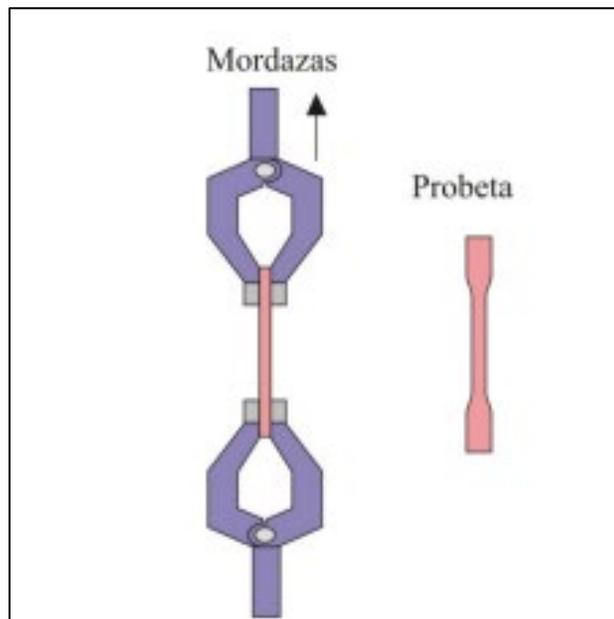
1.7.1.a. Deformación por tensión. La deformación por tensión de las biopelículas hace referencia a la capacidad que tendrá el material de soportar la mayor tensión posible hasta deformarse y posteriormente romperse. Los ensayos de tracción son una medida de la respuesta de un material ante una fuerza que tiende a estirarlo.

De estos ensayos se suele obtener información sobre la resistencia a la tracción, elongación donde se emplean probetas para el ensayo con dimensiones normalizadas que varían de acuerdo con la aplicación y el material utilizado [32].

La figura 8, muestra el diseño de las probetas para las pruebas de tensión y como se realiza el montaje de la prueba en las mordazas del equipo utilizado para el ensayo

Figura 8.

Probeta utilizada en ensayos de tracción.

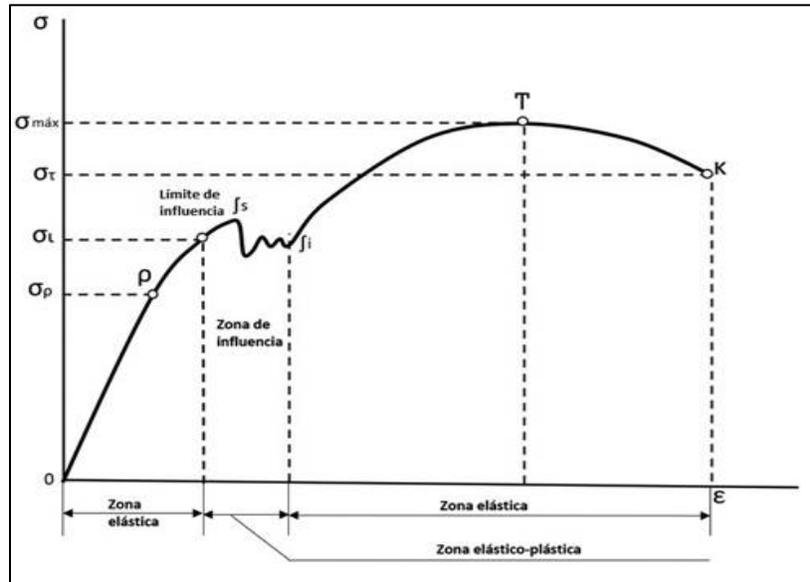


Nota. Esta figura representa la mordazas y probeta utilizada en ensayos de tracción de forma plana [32]. Tomado de: Beltrán, M. Marcilla. A. (n.d.). *Estructura y propiedades de los polímeros.* Available:https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_de_los_polimeros.pdf

La figura 9 muestra una curva típica deformación vs tensión obtenida en un ensayo en el que el esfuerzo aplicado varía de forma constante.

Figura 9.

Representación del diagrama deformación vs tensión en materiales sólidos plásticos



Nota. Esta figura representa el diagrama deformación vs tensión que presentan los materiales sólidos plásticos Tomado de: Solano-Doblado, L. G. *et al*, (00/2018). "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados." *TIP. Revista Especializada En Ciencias QuímicoBiológicas*[33]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-888X2018000421203&lng=es&nrm=iso&tlng=es. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153.

1.6.3. Propiedades físicas

Las propiedades físicas permiten conocer el comportamiento de las películas frente a condiciones de manipulación que pudieran suscitar.

1.7.2.a. Solubilidad. Determinar esta propiedad física es importante al momento de trabajar con biopelículas debido a que esta indica la capacidad de descomposición que posee al entrar en contacto con el agua, sin presentar una solubilidad alta en un medio líquido[34]. De igual manera, el estudio de la solubilidad de los polímeros en diferentes disolventes es muy importante a la hora

de determinar su resistencia a determinados ambientes, así como en aplicaciones donde el polímero está en solución. Además, la caracterización de macromoléculas (determinar el peso molecular promedio, la distribución del peso molecular, dispersión y tamaño) [31].

Por ende, el gran tamaño de las moléculas y la solubilidad de los polímeros es más compleja que la de los compuestos de bajo peso molecular. La forma de proceder la disolución es ya diferente y será más propensa a degradarse. Conocer esta propiedad permite establecer el uso final de la biopelícula y si se podrá aplicar como recubrimiento en alimentos con humedades bajas o altas [34]. De igual manera si la biopelícula presenta una solubilidad baja el potencial de ser usada como empaque o plástico de un solo uso será mayor [35].

1.7.2.b. Espesor. Las biopelículas son en su mayoría recubrimientos comestibles hidrofílicos, en el cual se ha encontrado una relación positiva entre la permeabilidad al vapor y el espesor del recubrimiento. Se cree que a medida que aumenta el espesor, aumenta la resistencia a la transferencia de masa del revestimiento, de igual manera genera un aumento en la presión parcial del vapor de agua en equilibrio en la superficie inferior del revestimiento [36].

1.7.2.c. Color. El color de las biopelículas depende directamente del tipo y la concentración del material que se agrega en el proceso de elaboración de este [37], las características de color y la opacidad están directamente relacionadas con la apariencia de la película, estas deben ser atractivas para el consumidor y no deben afectar el color del producto envasado a lo largo del tiempo de almacenamiento [38].

La transparencia y translucidez de los polímeros se deben a la morfología o estructura química relacionada con el peso molecular del material. El color se puede definir como la luz reflejada y la luz absorbida, las cuales deben tener un rango de valores 0 para una tonalidad blanco y 100 para un tono negro, respectivamente. Por otra parte, los valores de 0 y 60 representan niveles de rojo y amarillo para las biopelículas [38].

2. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE MARACUYÁ

Para caracterizar fisicoquímicamente los residuos del maracuyá en su variedad (*Passiflora edulis var flavicarpa degener*) se determinó el pH, el porcentaje de humedad, el porcentaje de cenizas, sólidos solubles y por último la acidez.

Se determinaron e identificaron las condiciones en las cuales se encuentran los residuos que puedan afectar el proceso de hidrólisis ácida para la obtención de pectinas; dado que el grado de madurez indica un cambio en la composición química interna de la fruta, estos cambios están relacionados con la disolución y despolimerización gradual de las sustancias pécticas, que se desarrollan gradualmente y evolucionan con el tiempo de protopectina insoluble a pectina soluble [39].

Cada una de estas características fisicoquímicas se explicarán en el siguiente capítulo:

2.1. Determinación del pH de la materia prima.

La medición del pH se realiza mediante el indicador universal el cual es una tira de papel impregnada de una mezcla de indicadores que dan como resultado un color preciso para ciertos valores de pH, por lo que se puede medir en una disolución, se añade una gota de disolución y se observa la comparación con el referente de la escala para determinar un valor de pH [40].

De igual manera la determinación de pH se puede realizarse haciendo uso de un pH-metro digital el cual mide la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez o alcalinidad representado en la escala universal indicadora de Zumdahl.

Para la determinación del pH de la materia prima residual, se realizaron varias replicas para corroborar la información obtenida y se tomaron los valores promedios

Tomando como referencia la figura 10 que representa la escala de colorimetría y determina el grado de acidez o alcalinidad que tienen los residuos de maracuyá utilizados para el proceso de obtención de pectinas como se muestra a continuación.

Figura 10.

Representación de la escala colorimetría del pH



Nota. La figura representa la escala indicadora universal Zumdahl para la determinación del pH. Tomado de: Casas Mateus, E., Augusto, J., Daza, C., Javier, H., Hilarión, N., Manuel, J., Parada, P., Natalia, A., Valbuena, R., & Liliana, R. (2009). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA* (Vol. 6, Issue 2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978009>

La prueba de determinación del pH se realizó mediante lo establecido en la norma ASTM D1067-17 donde se determina la cantidad de cenizas presentes en la materia residual [41].

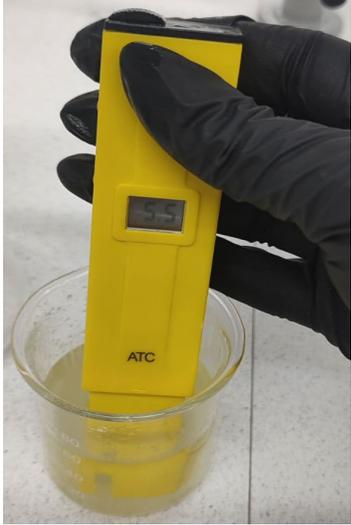
Para la determinación del pH se tomaron 10g de muestra pesados en la balanza analítica, posteriormente se añadieron 100 ml de muestra de agua en un vaso precipitado y se llevan a una licuadora hasta conseguir un líquido homogéneo. Luego se procedió a filtrar la muestra obtenida en un papel filtro para decantar la mezcla obtenida anteriormente y separar el sólido del líquido, para medir el pH se usó un potenciómetro digital y se verifico con el papel indicador de pH según la escala de colorimetría.

El pH obtenido a partir de los residuos se puede observar en la tabla 3, estos valores han sido determinados a partir de lo indicado en el párrafo anterior de la escala de color y numeración.

Mediante estos resultados se logra observar que la primera muestra tiene un valor de pH en un rango de 5.6 a 6 según el pH-metro y el indicador universal de la tira de papel teniendo valor ligeramente ácido, muy similar a la muestra dos que tiene un rango entre 5 a 5.5.

Tabla 4.

Determinación del pH de la cáscara de maracuyá de diferentes muestras.

Materia prima	pH-metro	Escala de colorimetría
Cáscara de maracuyá (10g M1)		
Cáscara de maracuyá (10g M2)		

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos mediante la determinación de pH de manera experimental en diferentes muestras de cáscara de maracuyá, utilizando la escala de color y el pH-metro.

El pH es un parámetro fundamental en la caracterización de residuos orgánicos ya que permite identificar las condiciones y cuantificar el nivel de acidez presenta en la cascara del maracuyá. De igual manera es de suma importancia ya que identifico las condiciones de la actividad biológica que tiene el residuo.

Según lo reportado en literatura en el artículo “Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá [42]” el maracuyá presenta un pH 4.18 ± 0.01 , un valor más ácido en comparación con los datos obtenidos en este trabajo. La variación en estos resultados es debido al grado de madurez de los residuos analizados en cada uno de los casos.

2.2. Porcentaje humedad en la caracterización de la materia prima.

El contenido de humedad en los residuos de maracuyá se debe tener en cuenta debido a que permite conocer la cantidad de agua que contiene el alimento, permitiendo que se desarrollen reacciones de deterioro en el contenido total de la misma. La humedad puede disminuir la estabilidad del residuo para la obtención de pectinas debido a los cambios microbianos, físicos y estructurales que genera [43].

De igual manera para determinar el contenido de humedad se determinó realizando los procedimientos establecidos en la norma ASTM C566-97 donde se determina la humedad evaporable en una muestra realizando un proceso de secado [44].

Para su determinación, se inició con el cálculo del peso de los vidrios de reloj vacíos. Posteriormente se adicionaron las muestras de la cáscara de maracuyá con mesocarpio a cada vidrio de reloj tomando aproximadamente 2g de muestra. Después las muestras se llevan al horno secador que opera a 105°C por un intervalo de tiempo de 1 hora. Transcurrido este tiempo, las muestras se retiraron y se colocaron en un desecador para que se enfriaran antes de pesar cada muestra en la balanza analítica.

Ecuación 1.

Determinación del porcentaje de humedad del residuo

$$\%Humedad = \left(\frac{MRAU(g) - MRAS(g)}{MAU(g)} \right) * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar el porcentaje de humedad de la muestra. Tomado de: Martins, S. H. F., Pontes, K. v., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303>

Donde:

MRAU= Masa en gramos del recipiente con la muestra húmeda.

MRAS= Masa en gramos del recipiente con la muestra seca.

MAU= Masa en gramos de la muestra húmeda

El porcentaje de humedad obtenido a partir de los residuos se puede observar en la tabla 4, estos valores han sido calculados a partir de la ecuación planteada anteriormente para la determinación de humedad, teniendo en cuenta el peso de la muestra en gramos, la masa de la muestra húmeda sin tener en cuenta la masa del recipiente y por último la masa de la muestra seca después del tiempo de secado.

Para la determinación el porcentaje de humedad de la materia prima residual, se realizaron varias replicas para corroborar la información obtenida y se tomaron los valores promedios

Tabla 5.*%Humedad de la cáscara de maracuyá de diferentes muestras*

Materia prima	Peso del recipiente (g)		Peso sólido húmedo (g)		Peso sólido seco (g)		%Humedad	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Cáscara de maracuyá (Caracterización, 2g M ₁)	17,90	19,08	2,04	2,00	18,19	19,58	85,71	75,04
Cáscara de maracuyá (Caracterización, 2g M ₂)	19,91	17,75	2,02	2,01	20,20	18,23	85,82	76,09
Cáscara de maracuyá (Caracterización, 2g M ₃)	17,48	18,96	2,09	2,06	17,79	19,31	85,51	82,82

Nota. La tabla muestra los resultados del cálculo de porcentajes de humedad de diferentes muestras de cáscara de maracuyá, utilizando la ecuación 1.

Mediante los resultados obtenidos se logra evidenciar que la primera muestra tiene un porcentaje de humedad promedio del 80,38% a diferencia de la segunda muestra que tiene un promedio mayor del 80,96% y por último la tercera muestra con un valor promedio del 84,17% siendo esta la que cuenta con mayor porcentaje de humedad presente. De igual manera la importancia permitió el proceso de pretratamiento a realizar para garantizar una calidad en la conservación del residuo.

Según la bibliografía el porcentaje de humedad de los residuos del maracuyá en su especie *pasiflora edulis f.flavicarpa* es del $83,76 \pm 1,09$ con base al artículo “Antioxidant activity and physicochemical 39tevia39n of passion fruit (*Passiflora glandulosa* Cav.) 39tev native to Cariri 39tevia” [45]

2.3. Caracterización cuantitativa de cenizas en la materia prima.

El contenido de cenizas es el residuo que queda después de la combustión de la materia orgánica, cuya importancia permite determinar la calidad y durabilidad del material. El cual se puede calcular a partir de la pérdida de masa de las muestras durante la combustión a alta temperatura según el método AOAC 2002 [46]. De igual manera para determinar de la prueba estándar del contenido de cenizas se determinó realizando los procedimientos establecidos en la norma ASTM D-3174 donde se determina la cantidad de cenizas presentes en la materia residual

[47]

Para realizar este ensayo se tomaron 2g de muestra de residuos de maracuyá molidos, los cuales fueron colocados en crisoles previamente pesados. Donde posteriormente fueron llevados a la mufla en la cual se calcinarán las muestras a una temperatura de 500°C por aproximadamente 1 hora.

Transcurrido este tiempo las muestras son retiradas de la mufla y finalmente pesadas para la determinación de cenizas por diferenciación a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 2.

Determinación de la cantidad de cenizas

$$\%Cenizas = \left(\frac{MRAC(g) - MR(g)}{MA(g)} \right) * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar de las cenizas de la muestra de maracuyá. Tomado de: Martins, S. H. F., Pontes, K. v., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.10030>

Donde:

MRAU= Masa en gramos del recipiente con la muestra calcinada.

MRAS= Masa en gramos del recipiente.

MAU= Masa en gramos de la muestra húmeda

Para determinar el porcentaje de cenizas se realizó de manera experimental tomando dos muestras de materia prima de la cáscara de maracuyá utilizando la ecuación descrita anteriormente como se puede ver en la tabla 5:

Tabla 6.*% Cenizas de la cáscara de maracuyá de diferentes muestras*

Materia prima	Peso crisol (g)	Peso sólido húmedo (g)	Peso sólido seco (g)	% Cenizas	Imagen
Cáscara de maracuyá (Caracterización, 2g M1)	66,83	2,01	66,84	0,35	
Cáscara de maracuyá (Caracterización, 2g M2)	86,75	2,01	86,76	0,30	

Nota. La tabla muestra los resultados del cálculo de porcentajes de cenizas de diferentes muestras de cáscara de maracuyá con mesocarpio, utilizando la ecuación 2.

El contenido de cenizas permitió determinar la durabilidad del residuo al ser sometido a altas temperatura y la pureza del residuo. A partir de la bibliografía se encontró que las cenizas de la cáscara de maracuyá para la especie de *pasiflora edulis f.flavicarpa* está en un rango de $0,83 \pm 0,05$ tomando como referencia el artículo “Antioxidant activity and physicochemical steviasn of passion fruit (*Passiflora glandulosa* Cav.) stev native to Cariri stevia” [45]

2.4 Determinación de los sólidos solubles.

Los grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en zumos de frutas, vino o entre otros. Estos determinan el contenido de sacarosa presente en un líquido. Es importante analizar este indicador para determinar el grado de maduración de la muestra y la cantidad de azúcares, sales, ácidos y otros compuestos solubles en agua que forman parte del jugo de la materia prima utilizada [48]. De igual manera para obtener el contenido de solidos solubles (Grados Brix) de la prueba estándar se determinó realizando los procedimientos establecidos en la Norma Técnica

Colombiana NTC 3549 donde se determina la cantidad de sólidos presentes en la frutas y zumos [49]

Para la determinación de sólidos solubles se pesaron 5g de muestra de cáscara de maracuyá y se le añadió 50 ml de agua destilada en un vaso precipitado y se licuó para obtener un líquido homogéneo. Luego se realizó la filtración de la mezcla para separar la parte sólida de la líquida y realizar la medición en el refractómetro digital colocando unas gotas de la muestra obtenida.

Los sólidos solubles obtenidos a partir de los residuos se observan en la tabla 8, estos valores han sido obtenidos de manera experimental, realizando varias réplicas de la medición y se tomaron los valores promedios.

Tabla 7.

% Sólidos solubles de la cáscara de maracuyá de diferentes muestras

Materia prima	° Brix
Cáscara de maracuyá (5g M1)	
Cáscara de maracuyá (5g M2)	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos mediante la determinación de sólidos solubles de manera experimental en diferentes muestras de cáscara de maracuyá con mesocarpio, utilizando el refractómetro.

Como se muestra en la tabla anterior los sólidos solubles totales de la cáscara de maracuyá están en un rango de 0,02 a 0,07 en las diferentes muestras. Por ende, se requiere hacer lavado de los residuos debido a que un exceso de sólidos solubles o grados brix hace que la fuerza del gel disminuya obteniendo una menor cantidad de pectina y afectando así el rendimiento de esta.

2.5 Determinación índice de acidez.

El índice de acidez consiste en la determinación de la concentración de un ácido o base cuando se le agrega un volumen de concentración conocida. Estudiando la concentración de acidez total del contenido de frutas (cítrico, málico, láctico, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, tartárico, entre otros.) [48].

Para determinar el índice de acidez estándar se siguió los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4635 donde se determina la cantidad de acidez presentes en la frutas y zumos por medio de la acidez titulable [50].

Para la preparación de la muestra se cortaron 10g de la fruta en trozos, posteriormente se licuó y filtro. Una vez obtenido el zumo se tomaron aproximadamente 10 ml a los cuales se le agregó 50 ml de agua destilada y las gotas indicadoras de color.

Posteriormente se realizó una titulación con la mezcla obtenida anteriormente dejando caer gota a gota el (NaOH 0,1N) hasta pasar de una tonalidad transparente a rosada; luego se procede a anotar y registrar los datos de la solución gastada de NaOH. Calculando el índice de acidez de la cáscara de maracuyá a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.

Determinación índice de acidez de la cáscara de maracuyá

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(N)(V)(N \text{ NaOH})}{(P)}$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar del índice de acidez de la muestra de maracuyá. Tomado de: Arzave, R., Loaiza, R., Santoyo Stephano, L., Velásquez, M. L., Barragán Pedro de Alba, M. L., Universitaria, C., Nicolás de los Garza, S., & León, N. (2016). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ Y ACIDEZ TOTAL DE CINCO MAYONESAS RESUMEN* (Vol. 1, Issue 2).

Donde:

N =Normalidad de la solución de NaOH utilizada en la titulación de la muestra

V =Mililitros de la solución de NaOH gastados en la titulación de la muestra

N =NaOH equivalentes de NaOH

P =Masa de la muestra en gramos

El índice de acidez se halló experimentalmente hasta obtener en la titulación un color rosa pálido con dos muestras de materia prima y una réplica como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 8.

% Índice de acidez de la cáscara de maracuyá de diferentes muestras

Materia prima	mL gastados de NaOH	Índice de acidez	Titulación
Cáscara de maracuyá (10g M1)	1,50	0,60	
	1,60	0,64	
Cáscara de maracuyá (10g M2)	1,70	0,68	
	1,60	0,64	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos mediante la determinación de índice de acidez en diferentes muestras de cáscara de maracuyá con mesocarpio.

Como se muestra en la tabla anterior el índice de acidez de la cáscara de maracuyá están en un rango de 0,60 a 0,68 en las diferentes muestras. A partir de la bibliografía se encontró que la acidez titulable de la cáscara de maracuyá está en un rango de 0,32 a 0,45 según el artículo “Jam 45tevia45n “passion fruit” (*Passiflora edulis Sims*) 45tev and peel sweetened with 45tevia” [51]

Los resultados obtenidos en el proceso de caracterización de los residuos del maracuyá en cuanto a la humedad, sólidos solubles, cenizas, pH y el índice de acidez muestran que las condiciones son favorables para la extracción de pectinas. No obstante, se requiere realizar un pretratamiento y adecuación de la materia prima para eliminar los grados Brix los cuales están en un rango de 0,02 a 0,07 y que afectan la obtención de pectinas por el exceso de sólidos solubles, en cuanto al porcentaje de humedad de los residuos se requiere un proceso de secado para aumentar la estabilidad del residuo, disminuir los cambios microbianos o físicos que pueda genera los alto contenidos de humedad obtenidos en la caracterización.

En el próximo capítulo que habla acerca de la obtención de pectinas extraídas de los residuos de maracuyá se describe detalladamente la metodología utilizada para la adecuación de los residuos utilizados durante el proceso y la obtención de pectinas.

3. EXTRACCIÓN DE PECTINAS DE LA CÁSCARA DE MARACUYA

Para el proceso de extracción química de pectinas de la cáscara de maracuyá se realizó un diseño experimental factorial donde se varía el pH y el tiempo de extracción de pectinas con diseño 3×2, donde el factor controlable del proceso es el pH y el tiempo de extracción, con una variable de respuesta de cantidad de pectinas para calcular el rendimiento de cada muestra. Cabe resaltar que se realizó una réplica a los diseños establecidos como se muestra en la tabla 8 con el fin de confirmar los datos obtenidos.

Los ensayos se realizaron con 300 g de materia prima de cáscara de maracuyá sin adecuación y sin pretratamiento.

Tabla 9.

Diseño de experimentos extracción de pectinas

Muestra	pH	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Cantidad de Etanol
1	1,5	70	80	60%
	2			
	3			
	1,5	90		60%
	2			
	3			
2	1,5	70	80	60%
	2			
	3			
	1,5	90		60%
	2			
	3			

Nota. La tabla muestra el diseño de experimentos planteado para la extracción de pectinas de la cáscara de maracuyá teniendo en cuenta cada una de las variables controlables y manipulables del proceso.

La variable de respuesta del diseño de experimentos corresponde al rendimiento de la pectina seca luego del proceso de extracción por hidrólisis ácida.

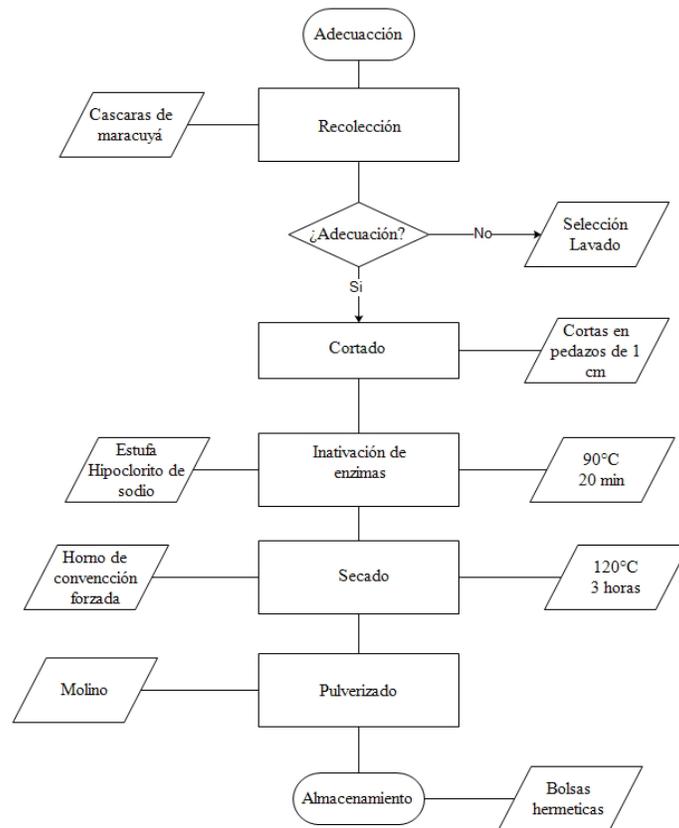
3.1. Proceso de pretratamiento de la materia prima

En primer lugar, se realizó la recolección de la cáscara de maracuyá en la variedad *Passiflora edulis var flavicarpa degener*) en la localidad de Kennedy, barrio castilla en la ciudad de Bogotá en la frutería “Caffut frutería” y el heladería “Cream Frost” quienes me permitieron realizar la recolección de los residuos para llevar a cabo el proceso experimental de extracción.

Para la adecuación de los residuos de maracuyá se siguió la metodología planteada en el trabajo de grado “Propuesta del proceso para la obtención de pectina partiendo de la cáscara de gulupa a escala piloto”[52] realizando algunas adecuaciones al proceso con base a la materia prima utilizada. A continuación, en la siguiente imagen se muestra cada etapa realizada para la adecuación de la materia prima

Figura 11.

Proceso de adecuación de los residuos de maracuyá



Nota. La figura presenta el proceso a seguir para lograr la adecuación de los residuos de maracuyá para el posterior uso en el proceso de extracción por hidrólisis ácida.

Antes de realizar el proceso de hidrólisis ácida se realizó el proceso de pretratamiento para potenciar la extracción de pectina. Inicialmente se realizó la recolección de la materia prima haciendo una selección de esta con el fin de trabajar únicamente con las cáscaras en buen estado. Es decir, sin daños microbiológicos, golpes mecánicos y en un estado de maduración óptimo para el proceso [53].

Posterior mente se hizo la adecuación de las cáscaras quitándoles el arilo carnososo presente en cada una de las muestras y se cortó en trozos de aproximadamente 2x2 cm para reducir el tamaño y poder realizar el proceso de escaldado.

Se realiza un lavado para eliminar los microorganismos que puedan afectar la calidad de la pectina, la suciedad que contengan las cáscaras y prevenir actividad microbiana que pueda afectar la corteza del fruto e inactivar las enzimas pécticas para evitar que estas reaccionen en otros procesos y se consuman [53].

Para el proceso de inactivación enzimática de la pectina lo que se busca es controlar el crecimiento de microorganismos que pueden degradar la materia prima utilizando un proceso de lavado y cocción con hipoclorito de sodio en bajas concentraciones realizando un aumento de la temperatura para generar un choque térmico a 90°C aproximadamente donde se sumergen por un tiempo corto 20 minutos o hasta el punto de ebullición del agua.

Finalmente se retira la humedad de las muestras de la cáscara en un horno de convención forzada a una temperatura de 70°C por un tiempo de 9 horas y se muelen las cáscaras de maracuyá con un molino manual casero hasta obtener un estado de polvo, que aumenta la superficie de contacto y el medio de extracción durante la hidrólisis ácida que se realizará posteriormente [54].

Para la adecuación de la materia prima se tomó una cantidad de cáscara de 300g para cada muestra, con las que se realizó la caracterización de la materia prima y obtención de pectina. Las muestras secas obtenidas de la cáscara de maracuyá fueron pasadas por un tamiz de malla número 80 con una apertura de 180 μm .

La figura 12 que se muestra a continuación permite evidenciar el pretratamiento realizado a las cascaras de maracuyá en cada una de sus etapas desde la recolección hasta el pulverizado de la materia prima tomando como referencia la metodología planteada en la figura 11.

Figura 12.

Pretratamiento de la cáscara de maracuyá.

Recolección	Adecuación	Cortado
		
Inactivación enzimática	Secado	Pulverizado
		

Nota. La figura presenta el proceso de adecuación de los residuos de maracuyá en cada una de sus etapas desde la recolección hasta el pulverizado de estos.

3.4.Extracción química

La extracción de pectina de la cáscara de maracuyá se realizó siguiendo la metodología propuesta por en el trabajo de grado “Desarrollo de películas biodegradables a base de pectinas extraídas de los subproductos del beneficio del café por hidrólisis ácida” [26], con algunas variaciones. Donde

se evaluó el comportamiento de variables como tiempo y temperatura en función del rendimiento, planteados en el diseño de experimentos mostrado en la tabla 10.

Para la obtención de pectinas se realizó un proceso de hidrólisis ácida donde se tomaron 900 mL de agua desionizada y se agregó ácido clorhídrico concentrado al 37% hasta obtener un pH de (1.5, 2 y 3) con base al diseño de experimentos planteado. El agua acidulada obtenida se llevó a calentamiento en una plancha hasta alcanzar una temperatura constante de 80°C.

Figura 13.

Adecuación del pH de la solución de ácido clorhídrico y proceso de calentamiento.

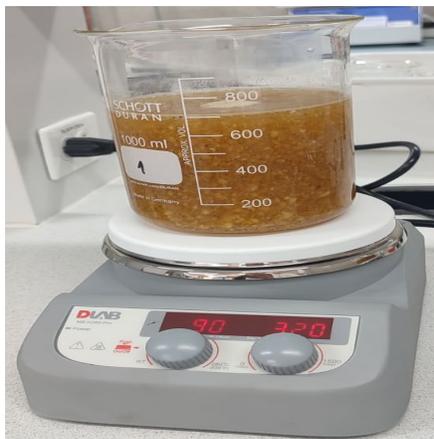


Nota. La figura presenta el proceso realizado para Adecuación del pH de la solución de ácido clorhídrico con agua y proceso de calentamiento a las condiciones requeridas.

Posteriormente se agregaron a la solución alrededor de 20 g del material sólido seco y pulverizado obtenido en el proceso de adecuación de la materia prima, por un tiempo de hidrólisis de (75 y 90 min). El proceso de hidrólisis ácida se llevó a cabo con agitación magnética constante para evitar que el material sólido se quedara en el fondo del vaso precipitado.

Figura 14.

Proceso de hidrólisis ácida para la obtención de pectinas.



Nota. La figura presenta el proceso de hidrólisis ácido realizado para la obtención de pectinas extraídas a partir de las cáscaras de maracuyá con base al diseño de experimentos.

Se realizó un enfriamiento a temperatura ambiente de la mezcla obtenida en el proceso de hidrólisis ácida. Luego de que la mezcla se encuentre fría se realiza la filtración para separar el material sólido de la solución líquida (hidrolizado).

Figura 15.

Proceso de filtración del hidrolizado.

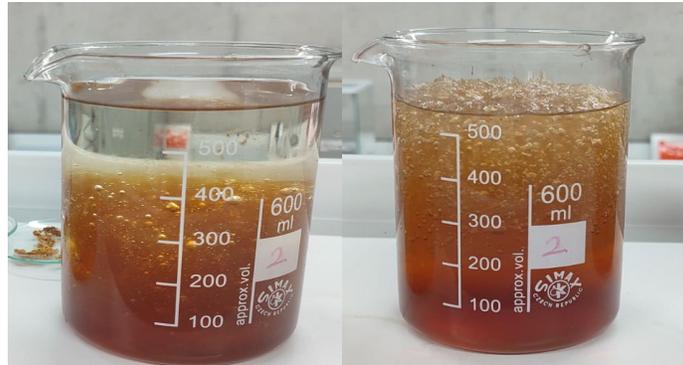


Nota. La figura muestra el proceso de filtración del material sólido y la solución líquida hidrolizada.

Finalmente se realiza la precipitación de la pectina tomando el líquido hidrolizado obtenido en la imagen anterior y se le adiciona etanol en una proporción del 60 % con respecto al volumen del líquido y se dejó en reposo durante 24 horas.

Figura 16.

Proceso de precipitación de la pectina.



Nota. Las figuras muestran la etapa de precipitación de pectinas al comienzo y al pasar las 24 horas de reposo.

Transcurrido el tiempo de reposo se filtró el precipitado utilizando un embudo büchner realizando una filtración al vacío con la ayuda de papel filtro para remover la mayor cantidad de etanol y conseguir el material péptido y que quede en la parte superior del filtro.

Figura 17.

Proceso de filtración de la pectina.

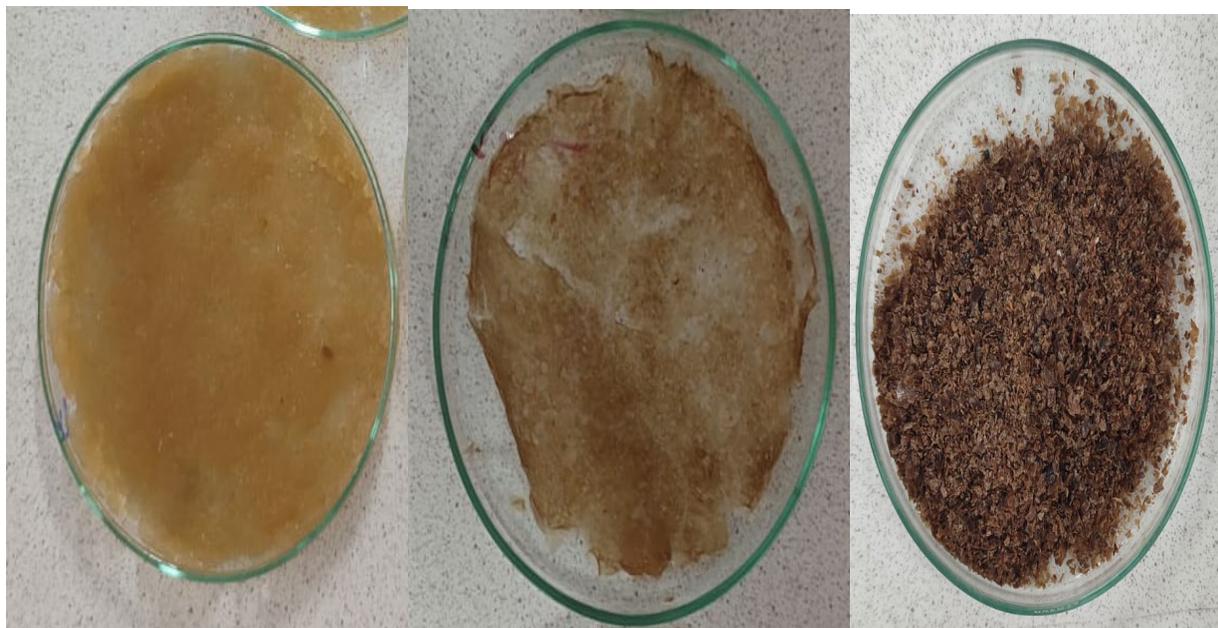


Nota. Las figuras muestran el proceso de filtración de la pectina obtenida.

Por último, la pectina húmeda se llevó a un proceso de secado a 50°C durante 6 h en caja Petri, luego de este proceso se trituro y se usó en los procesos de caracterización de la pectina y también se realizó el pesado de la pectina para calcular el rendimiento de esta.

Figura 18.

Proceso de secado de la pectina.



Nota. La figura muestra la pectina húmeda, la pectina seca y la pectina pulverizada.

3.4. Rendimiento de la extracción

Durante el proceso de extracción de pectinas es importante tener en cuenta los porcentajes de rendimiento, ya que estos resultados facilitan el análisis de la viabilidad del proceso aplicado. Influenciado por la cantidad de solvente proporcionado y el tiempo de extracción, en relación con la cantidad de materia prima involucrada inicialmente.

De igual manera al alcanzar un mayor rendimiento durante el proceso de extracción de pectinas a partir los residuos de maracuyá, se tendrá más producto para posteriormente realizar la formulación para la obtención de la biopelícula.

La siguiente ecuación permite determinar el rendimiento de la pectina en base seca:

Ecuación 4.

Porcentaje de rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Peso final pectina seca}}{\text{Peso inicial de materia prima}} \right) * 100$$

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del rendimiento en de la pectina con respecto a la cantidad de materia prima empleada [19].

Tomado de: Orozco Velandia, K. D., & Villa Mejía, S. (2021). *Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica*.

<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8689>

En la tabla 9, se estable el resultado de rendimiento de las pectinas extraídas usando los residuos de maracuyá en base seca mostrados a continuación. Teniendo en cuenta la materia prima en muestra seca (g) y el peso de la pectina, para determinar el porcentaje de rendimiento se evaluaron las condiciones del diseño experimental luego de realizar cada una muestra con base al diseño de experimentos planteado inicialmente.

Tabla 10.

Rendimiento de pectina obtenida con base al diseño de experimentos por hidrólisis ácida

Muestra	pH	Tiempo (min)	Muestra seca (g)	Precipitado (mL)	Pectina seca (g)	Rendimiento
1	1,50	70	26,89	530	4,79	17,82
	2,00		18,73	600	3,89	20,74
	3,00		18,44	470	3,31	17,96
	1,50	90	20,24	500	3,11	15,39
	2,00		22,31	550	4,14	18,57
	3,00		20,33	440	3,65	17,95
2	1,50	70	19,83	520	3,18	16,04
	2,00		19,77	480	3,86	19,54
	3,00		20,40	570	3,37	16,49
	1,50	90	20,25	490	3,43	16,92
	2,00		19,98	500	3,55	17,76
	3,00		20,79	470	3,03	14,59

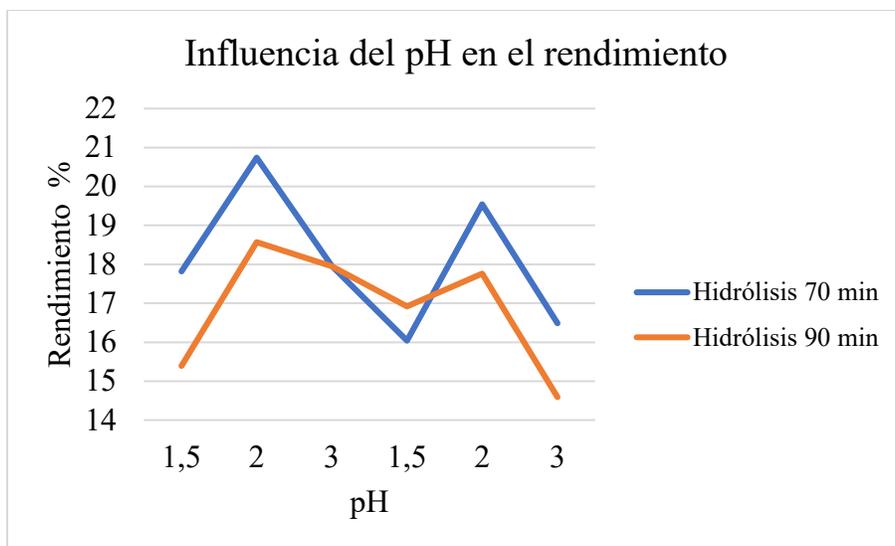
Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos para el porcentaje de rendimiento de extracción con base al diseño de experimentos planteado.

De los 12 diseños realizados, el rendimiento más alto fue del 20,74% el cual correspondió al diseño experimental de la muestra 1, influenciado por la cantidad de solvente y tiempo de extracción. Donde sus condiciones fueron pH 2, temperatura 80 °C, 70 min de extracción y una cantidad de precipitación de 60% de etanol.

De igual manera la gráfica 1. nos permite observar la influencia de cada factor sobre el rendimiento de la pectina, donde el tiempo tiene un efecto significativo ya que a medida que disminuye el tiempo de cocción se ve un aumento en el rendimiento de la pectina. Teniendo en cuenta el pH usado en el proceso de la hidrólisis ácida a partir de ácido clorhídrico donde se logra observar que los mejores resultados son a pH de 2 en un tiempo de hidrólisis 70 logrando el máximo rendimiento como se muestra a continuación.

Gráfica 1.

Influencia del pH en el rendimiento de la extracción de pectinas



Nota. La gráfica 1 muestra la influencia del pH en el rendimiento de obtención de pectinas en un tiempo de hidrólisis ácida de 70 y 90 minutos.

Los resultados obtenidos a partir del diseño experimental de la extracción de pectinas de la cáscara del maracuyá mediante la hidrólisis ácida fueron realizadas mediante un análisis ANOVA con $P < 0,05$ indicando significancia estadística con un nivel de confianza del 95 %. A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico y de varianza del diseño.

Tabla 11.*Análisis estadístico de la extracción de pectinas en un tiempo de 70 min*

Tiempo	pH			Total
	70	1,50	2,00	
Suma	33,86	40,28	34,45	108,59
Promedio	16,93	20,14	17,23	18,10
Varianza	1,58	0,72	1,08	3,20

Nota. La tabla muestra el análisis estadístico del proceso de extracción de las pectinas con base al rendimiento obtenido del diseño de experimentos para un tiempo de extracción de 70 min

La tabla 12 muestra los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico de la extracción en un tiempo de 90 minutos de hidrolisis acida con base al rendimiento obtenido en base seca de la pectina como se muestra a continuación

Tabla 12.*Análisis estadístico de la extracción de pectinas en un tiempo de 90 min*

Tiempo	pH			Total
	90	1,50	2,00	
Suma	32,31	36,33	32,54	101,18
Promedio	16,16	18,17	16,27	16,86
Varianza	1,17	0,33	5,64	2,45

Nota. La tabla muestra el análisis estadístico del proceso de extracción de las pectinas con base al rendimiento obtenido del diseño de experimentos para un tiempo de extracción de 90 min

La tabla 13 muestra los resultados obtenidos mediante un análisis de varianza realizado con base al diseño experimental planteado para la extracción de pectinas evaluando la probabilidad del ensayo y las interacciones en las variables.

Tabla 13.*Análisis de varianza del proceso de extracción de pectinas*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	4,58	1,00	4,58	2,61	0,16	5,99
Columnas	16,85	2,00	8,43	4,80	0,06	5,14
Interacción	0,84	2,00	0,42	0,24	0,79	5,14
Dentro del grupo	10,53	6,00	1,75			
Total	32,79	11,00				

Nota. La tabla muestra el análisis de varianza del diseño experimental con base al análisis ANOVA. Según fuentes consultadas para la extracción de pectinas a partir de las cáscaras de maracuyá se puede evidenciar que el rendimiento obtenido en peso seco fue del 16,0% con base al artículo “Valorización de la cáscara de maracuyá (*passiflora edulis f. Flavicarpa deg.*) como subproducto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico” en el cual se parte inicialmente de 10 g de cáscara de maracuyá [18]. Asimismo, según Charchalac. Se puede obtener un rendimiento en un rango de 12.7% hasta 21.25% para la extracción partiendo del peso seco de las cáscaras de maracuyá [20]. Mientras que, en los resultados del artículo de Cuesta, Al. Este obtuvo un rendimiento del 14.2% partiendo de 100 g de materia prima [21].

Comparando los resultados se puede inferir que los resultados obtenidos durante el proceso de extracción se encuentran dentro del rango de valores obtenidos de otras fuentes consultadas. De igual manera se puede deducir que las variaciones obtenidas pueden ser del grado de madurez del maracuyá utilizado en el proceso, el pretratamiento, el solvente utilizado para la hidrólisis y la cantidad de materia prima utilizada.

3.5. Caracterización de las pectinas obtenidas

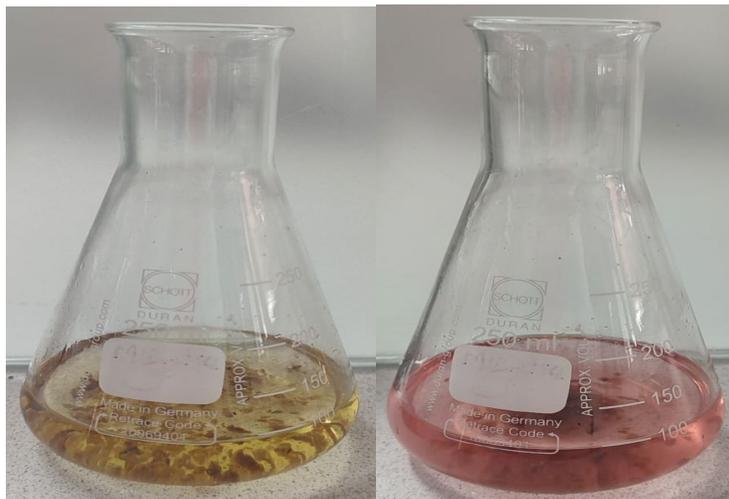
3.5.1 Determinación del peso equivalente y acidez libre

Para la determinación del peso equivalente y acidez libre por el método de titulación se empleó la técnica de Owens [22], la cual consiste en pesar en un vidrio de reloj 500 mg de pectina. Posteriormente adicionar a un Erlenmeyer de 250 mL con la ayuda de 5 mL de alcohol al 96% para humedecer la pectina y luego se le adicionan 100 mL de agua destilada.

Finalmente, se debe realizar una titulación con NaOH 0.1 N utilizando como indicador 4 gotas de rojo de fenol.

Figura 19.

Determinación del peso equivalente y acidez libre.



Nota. La figura representa el proceso de titulación realizado para determinar el peso equivalente y la acidez libre de la pectina obtenida a partir de los residuos de maracuyá.

Para la determinación del peso equivalente de la pectina extraída de la cáscara de maracuyá se utilizó la siguiente ecuación realizando la titulación en tres muestras:

Ecuación 5.

Peso equivalente de la pectina extraída.

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{mg de componente ácido (pectina)}}{\text{mEq utilizados (NaOH)}} * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar el peso equivalente de la pectina Tomado de: L. Mendoza, J. Jiménez, and M. Ramírez, “EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.),” Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 – 138[55]

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de la ecuación descrita anteriormente

Tabla 14.

Determinación del peso equivalente de la pectina extraída.

Materia prima	Peso de la pectina (mg)	NaOH utilizado (mL)	NaOH Normalidad (N)	Peso equivalente (mg/mEq)
	S1	S1	S1	S1
Pectina de maracuyá (500 mg M1)	501	4,60	0,10	1089,13
Pectina de maracuyá (500 mg M2)	502	4,30	0,10	1167,44
Pectina de maracuyá (500 mg M3)	500	4,20	0,10	1190,48

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el proceso de titulación realizado para determinar el peso equivalente.

El peso equivalente de una pectina indica el comportamiento que tiene la pectina, basado en el grado de ácido -D galacturónico, para la pectina extraída de la cáscara de maracuyá se obtuvo un valor promedio de las tres muestras de 1149.02 mg/meq. Según fuentes consultadas para la extracción de pectinas a partir de las cáscaras de maracuyá se puede evidenciar que el peso equivalente de la pectina fue 1226,27 mg/meq con base al artículo “Estudio comparativo del rendimiento de la obtención de pectina a partir de los residuos de especies del género Passiflora mediante hidrólisis con diferentes ácidos”[56]. Asimismo, según Monserrat, et. La pectina de maracuyá sin capa superficial tiene un peso equivalente de 2370 mg/meq[57], [58].

Al comparar el porcentaje de peso equivalente de las pectinas extraídas en esta investigación se identifica que se encuentran dentro del rango de valores obtenidos en las fuentes consultadas en el párrafo anterior. De igual manera la pectina obtenida de los residuos de maracuyá cuenta con un alto contenido de peso equivalente debido a que el ácido presente tuvo una alta fragmentación durante el proceso de hidrólisis.

Para la determinación de la acidez libre de la pectina extraída de la cáscara de maracuyá se utilizó la siguiente ecuación realizando la titulación en tres muestras:

Ecuación 6.

Acidez libre de la pectina extraída.

$$Acidez\ libre = \frac{mEq\ utilizados\ (NaOH)}{mg\ de\ componente\ ácido\ (pectina)} * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar la acidez libre de la pectina Tomado de: L. Mendoza, J. Jiménez, and M. Ramírez, “EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.),” Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 - 138 [55]

Tabla 15.

Determinación de la acidez libre de la pectina extraída.

Materia prima	Peso de la pectina (mg)	NaOH utilizado (mL)	NaOH Normalidad (N)	Acidez libre (mEq/g)
	S1	S1	S1	S1
Pectina de maracuyá (500 mg M1)	0,501	4,6	0,1	0,92
Pectina de maracuyá (500 mg M2)	0,502	4,3	0,1	0,86
Pectina de maracuyá (500 mg M3)	0,500	4,2	0,1	0,84

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el proceso de titulación realizado para determinar la acidez de la pectina.

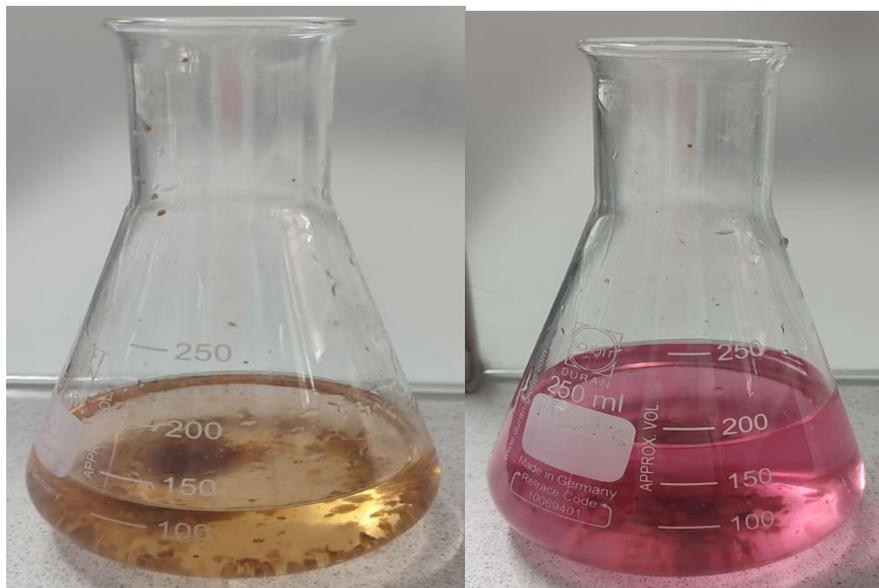
La pectina extraída obtuvo un valor promedio de las tres muestras de 0,87 mEq/g de acidez libre, el valor reportado es alto con respecto a la bibliografía consultada. Sin embargo, se encuentra dentro de los intervalos reportados para las pectinas extraídas por hidrólisis ácida. Según fuentes consultadas para la extracción de pectinas la acidez de una pectina comercial de gelificación lenta se encuentra en un intervalo mayor al 0,37 mEq/g y para una pectina comercial con gelificación lenta menor a 0,28 mEq/g [59]

3.5.2 Determinación del contenido de metoxilo

Para la determinación del contenido de metoxilo se empleó la técnica de Owens, en la cual se usa la solución obtenida en la determinación de peso equivalente y acidez libre. A esta mezcla se adicionan 25 mL de NaOH 0,1 N y se tapa con un tapón al Erlenmeyer que se deja en reposo por 30 minutos a temperatura ambiente, luego se adicionan 25 mL HCl 0,25 N para neutralizar y se agita de forma permanente. Para finalmente, realizar una nueva titulación con NaOH 0,1 N hasta obtener una leve tonalidad roja [22].

Figura 20.

Determinación del contenido de metoxilo.



Nota. La figura representa el proceso de titulación realizado para determinar el contenido de metoxilo de la pectina obtenida a partir de los residuos de maracuyá.

Para la determinación de este parámetro se utilizó la siguiente fórmula tomando los resultados de las tres titulaciones realizadas anteriormente:

Ecuación 7.

Contenido del metoxilo de la pectina extraída.

$$\% \text{ Metoxilo} = \frac{\text{mEq (NaOH)} * \text{PM del metoxilo}}{\text{mg de componente ácido (pectina)}} * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar el contenido de metoxilo de la pectina Tomado de: L. Mendoza, J. Jiménez, and M. Ramírez, “EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.),” Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 – 138[55]

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos mediante la determinación de contenido de metoxilación de la pectina utilizando la ecuación descrita anteriormente.

Tabla 16.

Determinación de metoxilo de la pectina extraída.

Materia prima	Peso de la pectina (mg)	NaOH utilizado (mL)	NaOH Normalidad (N)	PM de la pectina (g/mol)	%Metoxilo
	S1	S1	S1	S1	S1
Pectina (500 mg M1)	501	14,1	0,1	31	8,72
Pectina (500 mg M2)	502	14,2	0,1	31	8,77
Pectina (500 mg M3)	500	14,8	0,1	31	9,18

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el proceso de titulación realizado para determinar el metoxilo de la pectina.

El contenido de metoxilo en las pectinas se utiliza para clasificar los tipos de pectina como pectina de bajo contenido de metoxilo o alto contenido de metoxilo. Para las pectinas obtenidas a partir de la cáscara de maracuyá, el contenido de metoxilo está en el rango de 8.72% a 9.18% obtenido como resultado una pectina de alto grado de metoxilo. Tomando como referencia la norma FOOD Chemical Codex (1996) la cual clasifica el contenido de metoxilo en pectina $> 7 \%$ se clasifica como alto y $< 7 \%$ se considera como bajo[60].

Para la extracción de pectinas a partir de las cáscaras de maracuyá se puede evidenciar que el contenido de metoxilo de la pectina fue de 14.50%, con base al Trabajo de grado “Caracterización Físicoquímica De La Pectina De Cáscara De Maracuyá (*Passiflora Edulis*) Extraída Mediante Hidrólisis Ácida Y Evaluada Con El Diseño De Box-Behnken, Lambayeque – 2012”[61]. Mientras que, en los resultados del artículo de Cuesta, Al. Este obtuvo un contenido de metoxilo 13.4% a partir de cáscara de maracuyá sin capa superficial [40].

Al comparar el contenido de metoxilo de las pectinas extraídas en esta investigación se identifica que se encuentran dentro del rango de valores obtenidos en otras fuentes consultadas y la norma FOOD Chemical Codex (1996) [60]clasificando esta como una pectina de alto contenido de metoxilo y una gelificación rápida, es decir que forma geles con contenido de sólidos solubles.

3.5.3 Determinación del grado de esterificación (GE)

Para la determinación del grado de esterificación se empleó la técnica de Owens, la cual se calcula dividiendo los miliequivalentes del hidróxido de sodio gastados en la determinación del contenido de metoxilo por la suma de los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en la determinación de la acidez libre, los gastados en la determinación del contenido de metoxilo y multiplicando este valor por 100 como se muestra en la siguiente ecuación utilizada para la determinación de este parámetro [22].

Ecuación 8.

Grado de esterificación de la pectina

$$\% \text{ Esterificación} = \frac{mEq (\text{NaOH}) \text{ "Cont. de metoxilo"}}{mEq (\text{NaOH}) \text{ Acidez libre} + mEq (\text{NaOH}) \text{ "Cont. de metoxilo"}} * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar el grado de esterificación de la pectina Tomado de: L. Mendoza, J. Jiménez, and M. Ramírez, “EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.),” Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 – 138[55]

La tabla 15 muestra los resultados obtenidos mediante la determinación del grado de esterificación de la pectina utilizando la ecuación 8 descrita anteriormente.

Tabla 17.

Determinación del grado de esterificación de la pectina.

Materia prima	Acidez libre (mEq)	%Metoxilo (mEq)	Grado de esterificación
	S1	S1	S1
Pectina de maracuyá (500 mg M1)	0,46	1,41	75,40
Pectina de maracuyá (500 mg M2)	0,43	1,42	76,76
Pectina de maracuyá (500 mg M3)	0,42	1,48	77,89

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos para la determinación del grado de esterificación de la pectina de la cáscara de maracuyá.

La pectina extraída de las tres muestras está en el rango de 75,40% a 77,89% para la determinación del grado de esterificación. En literatura se puede evidenciar que el grado esterificación de la pectina fue del 85% con base al Trabajo de grado “Caracterización Fisicoquímica De La Pectina

De Cáscara De Maracuyá (*Passiflora Edulis*) Extraída Mediante Hidrólisis Ácida Y Evaluada Con El Diseño De Box-Behnken, Lambayeque – 2012”[61]. Mientras que, en los resultados del artículo de Cuesta, Al. Este obtuvo un grado de esterificación 90.9% a partir de cáscara de maracuyá sin capa superficial [40]. Por ende, se logra evidenciar que el grado de esterificación se encuentra dentro de los intervalos reportados para las pectinas extraídas por hidrólisis ácida, dentro de los parámetros dados por la FAO donde el grado de esterificación de la pectina debe ser mayor al 60% [57].

3.2.4 Determinación

Este método se basa en usar los datos registrados en las titulaciones realizadas para determinar el grado de esterificación anteriormente detallado y calcular los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en cada valoración [62].

Ecuación 9.

Contenido de ácido anhídrido galacturónico en la pectina

$$\%AAG = \frac{176 * 100 - (mEq (NaOH) \text{ Acidez libre} + mEq (NaOH) \text{ "Cont. de metoxilo})}{mg \text{ de componente ácido (pectina)}}$$

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el proceso de titulación realizado para determinar del contenido ácido anhídrido galacturónico. Tomado de: L. Mendoza, J. Jiménez, and M. Ramírez, “EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.),” Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 – 138[55]

Donde:

176= peso molecular del ácido anhídrido galacturónico expresado en mg/mEq

La tabla mostrada a continuación muestra los resultados obtenidos mediante la ecuación 9 para la determinación del ácido anhídrido galacturónico

Tabla 18.*Determinación del ácido anhídrido galacturónico*

Materia prima	Peso de la pectina (mg)	Acidez libre (mEq)	%Metoxilo (mEq)	Ácido anhídrido galacturónico
	S1	S1	S1	S1
Pectina de maracuyá (500 mg M1)	501	0,46	1,41	35,13
Pectina de maracuyá (500 mg M2)	502	0,43	1,42	35,06
Pectina de maracuyá (500 mg M3)	500	0,42	1,48	35,20

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el proceso de titulación realizado para determinar la cantidad de ácido anhídrido galacturónico.

La pectina extraída de las tres muestras está en un rango de 35,06% a 35,20% para la determinación del porcentaje de ácido anhídrido galacturónico registrando un valor bajo que afecta el grado de pureza de la pectina en comparación a los datos reportados en otros documentos. Según la bibliografía el porcentaje de ácido anhídrido galacturónico de la pectina fue del 88.60% con base al Trabajo de grado “Caracterización Físicoquímica De La Pectina De Cáscara De Maracuyá (*Passiflora Edulis*) Extraída Mediante Hidrólisis Ácida Y Evaluada Con El Diseño De Box-Behnken, Lambayeque – 2012”[61].

Por ende, se logra evidenciar que el porcentaje de ácido anhídrido se encuentra por debajo de los intervalos reportados para las pectinas extraídas por hidrólisis ácida dentro de los parámetros dados por la FAO donde este debe ser mayor al 65% [57].

3.2.5 Determinación del porcentaje de humedad.

La determinar el contenido de humedad se determinó realizando los procedimientos establecidos en la norma ASTM C566-97 donde se determina la humedad evaporable en una muestra realizando un proceso de secado [44]

El contenido de humedad presente en las pectinas permite determinar la pureza de la pectina extraída, dentro de los parámetros dados por la FAO la humedad debe ser menor al 12% y para una pectina comercial cercana al 10% [57]. Para su determinación, se inicia con el peso de los

vidrios de reloj vacíos limpios y secos, luego se adicionaron las muestras de pectina extraída tomando aproximadamente 2g de muestra. Finalmente, las muestras se llevan al horno secador que a 105°C por 1 hora.

Transcurrido este tiempo las muestras se retiraron y se colocaron en un desecador para que se enfríen antes de pesar cada muestra en la balanza analítica.

Ecuación 10.

Determinación del porcentaje de humedad de la pectina

$$\%Humedad = \left(\frac{MRAU(g) - MRAS(g)}{MAU(g)} \right) * 100$$

Nota. Esta ecuación muestra las variables para determinar el porcentaje de humedad de la muestra. Tomado de: Martins, S. H. F., Pontes, K. v., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303>

Donde:

MRAU= Masa en gramos del recipiente con la muestra húmeda.

MRAS= Masa en gramos del recipiente con la muestra seca.

MAU= Masa en gramos de la muestra húmeda

El porcentaje de humedad obtenido de las diferentes muestras de pectina se pueden observar en la siguiente tabla, estos valores han sido calculados a partir de la ecuación 10 para la determinación de humedad. Mediante estos resultados se logra observar que para la primera muestra tiene un porcentaje de humedad promedio del 12,45% a diferencia de la segunda muestra que tiene un promedio mayor del 12,26% y por último la tercera muestra con un valor promedio del 12,97% siendo la que cuenta con mayor porcentaje de humedad presente.

Tabla 19.*%Humedad de las pectinas obtenidas de la cáscara de maracuyá*

Materia prima	Peso del recipiente (g)	Peso sólido húmedo (g)	Peso sólido seco (g)	%Humedad
	S1	S1	S1	S1
Pectina de maracuyá (2g M1)	19,991	2,049	21,785	12,45
Pectina de maracuyá (2g M2)	19,084	2,063	20,894	12,26
Pectina de maracuyá (2g M3)	19,526	2,028	21,291	12,97

Nota. La tabla muestra los resultados del cálculo de porcentajes de humedad de diferentes muestras de pectinas, utilizando la ecuación 10.

Los resultados obtenidos en la tabla 15 permiten determinar que la pectina obtenida a partir de los residuos del maracuyá se encuentra dentro de los parámetros establecidos por Food and Agriculture Organization con un valor menor al 12% de humedad presente en cada muestra analizada [57].

Los resultados obtenidos en el proceso de extracción de pectinas de los residuos del maracuyá en cuanto a la caracterización de las pectinas obtenidas muestran que las condiciones son favorables para la elaboración de una biopelícula biodegradable ya que mediante la determinación de estos parámetros se logró identificar que tiene una pectina de gelificación rápida, con alto contenido de metoxilo. En el siguiente capítulo se describe el proceso para la elaboración de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas de los residuos de maracuyá donde se describe la metodología utilizada para la realización de la formulación de la biopelícula utilizando las pectinas extraídas durante este capítulo.

4. SINTESIS DE UNA BIOPELÍCULA USANDO LAS PECTINAS EXTRAÍDAS DE LA CÁSCARA DE MARACUYA

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica donde se compararon los diferentes procedimientos utilizados para la obtención de biopelículas de pectina en diferentes frutas. En este capítulo, se mostrará la cantidad de plastificante requerido en la elaboración de las biopelículas y la concentración de pectina la cual juega un papel importante en la elaboración de esta, ya que la interacción entre pectina y plastificante genera diferentes alteraciones en la microestructura de las cadenas de pectina [63]. Con el fin de encontrar la formulación óptima para la elaboración de una biopelícula a partir de la pectina presente en los residuos del maracuyá.

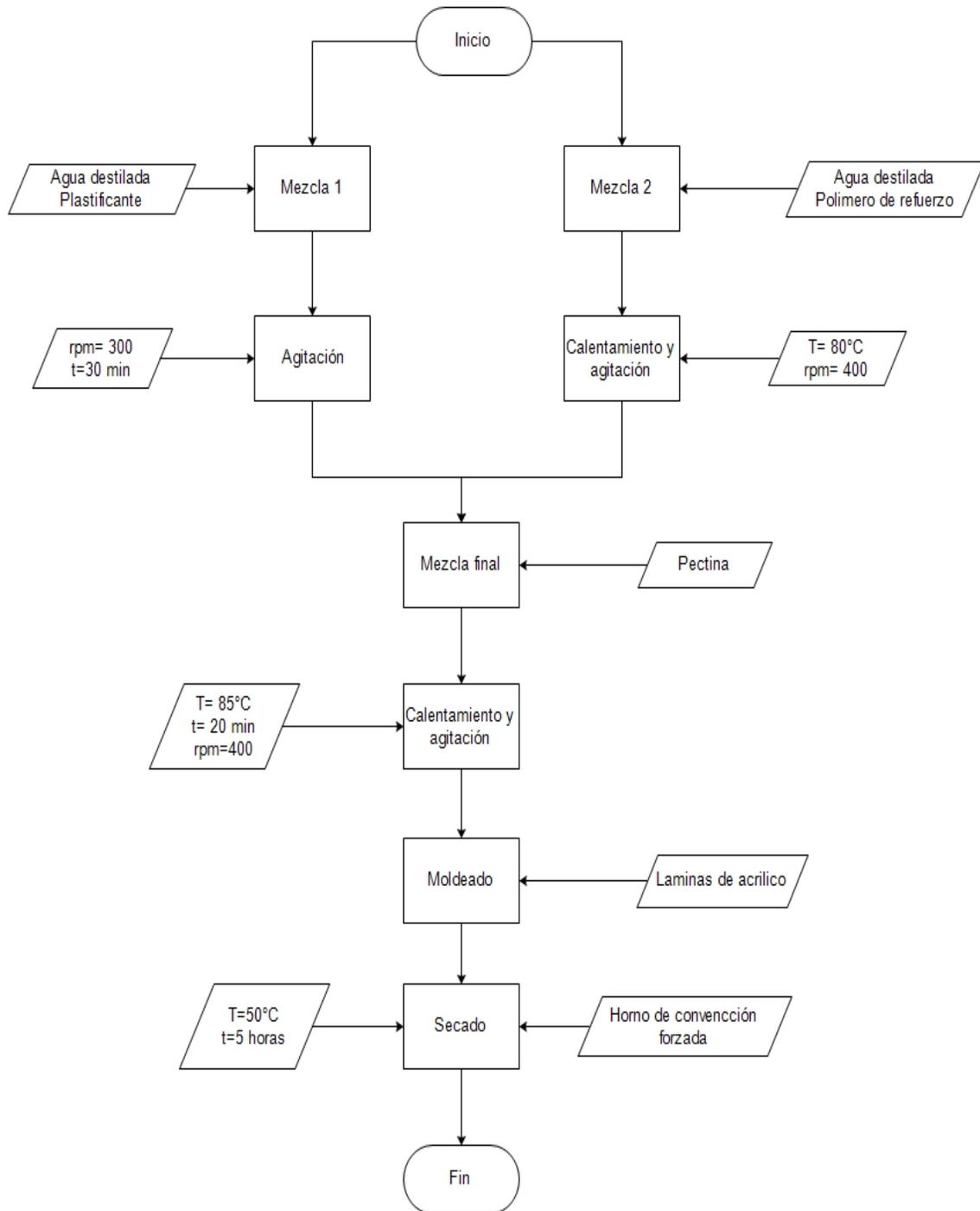
Para la elaboración de la biopelícula se usó del método casting [64], proceso mediante el cual el líquido obtenido a través de la formulación es vertido en un molde de acrílico plano con dimensiones de 11 x 29 cm, para obtener un espesor uniforme y una estabilidad dimensional en el proceso.

Para la formulación de la biopelícula obtenida a partir de las pectinas extraídas de la cascará de maracuyá se utilizó Alcohol polivinílico (PVA) que actúa como polímero de refuerzo de la biopelícula y glicerol el cual se utiliza frecuentemente en la elaboración de biopolímeros, debido a sus propiedades humectantes [65].

Se realizaron dos mezclas agua-alcohol polivinílico y agua-glicerina durante un proceso de agitación magnética hasta alcanzar temperatura de solubilidad, luego se mezcló el resultado de las dos muestras obtenidas anteriormente y se adiciono la cantidad de pectina, luego se dejó en calentamiento hasta alcanzar la gelatinización como se muestra en el siguiente esquema que explica a detalle cada etapa del proceso realizado para la obtención de la mezcla de la biopelícula.

Figura 21.

Esquema para el proceso de la elaboración de una biopelícula a partir de pectinas.



Nota. Esta figura muestra el proceso que se debe realizar para la obtención de una biopelícula a partir de las pectinas de la cáscara del maracuyá.

Inicialmente se ejecutó una prueba blanco la cual no contiene muestra real de pectina, ya que este es el analito de interés a evaluar para la obtención de la biopelícula. Por ende, para esta formulación inicial se utilizó el plastificante (glicerol) y Alcohol polivinílico (PVA) que actúa como refuerzo en la matriz de la biopelícula los cuales fueron sometido a las mismas condiciones y al mismo procedimiento que las muestras reales como se muestra en la siguiente tabla[66].

Tabla 20.

Formulación de la prueba blanco

Formulación	Pectina de maracuyá (g)	Agua (g)	Alcohol polivinílico (g)	Glicerol 99% (g)
A	-	100	1,2	10

Nota. La tabla muestra la prueba blanco realizada con los agentes de refuerzo para la obtención de una biopelícula.

Luego de realizar el blanco con la formulación planteada en la tabla anterior se obtiene como resultado la siguiente biopelícula.

Figura 22.

Prueba blanco para la obtención de una biopelícula.



Nota. Esta imagen muestra los resultados obtenidos de la prueba blanco realizada para la obtención de una biopelícula utilizando solo los analitos de interés

El resultado obtenido de la prueba fue satisfactorio ya que la biopelícula muestra uniformidad sin la adicción del analito de interés. No obstante, se puede evidenciar que esta tiene una apariencia gelatinosa y pegajosa, también se observan grumos de PVA. Finalmente, esta prueba blanco requirió mayor tiempo de secado en comparación de las pruebas realizadas con adicción de pectina.

Posteriormente se realizó un análisis bibliográfico y comparación de varias fuentes consultadas, donde se tomó como punto de referencia para la formulación inicial con adicción de pectina el artículo “Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (CAST-FILMS) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y alcohol polivinílico (PVOH)”[67] .

Con el fin de identificar el comportamiento de la pectina junto con los componentes analíticos para la obtención de la biopelícula y evaluar las características de esta.

Tabla 21.

Formulaciones preliminares para elaborar las películas biodegradables

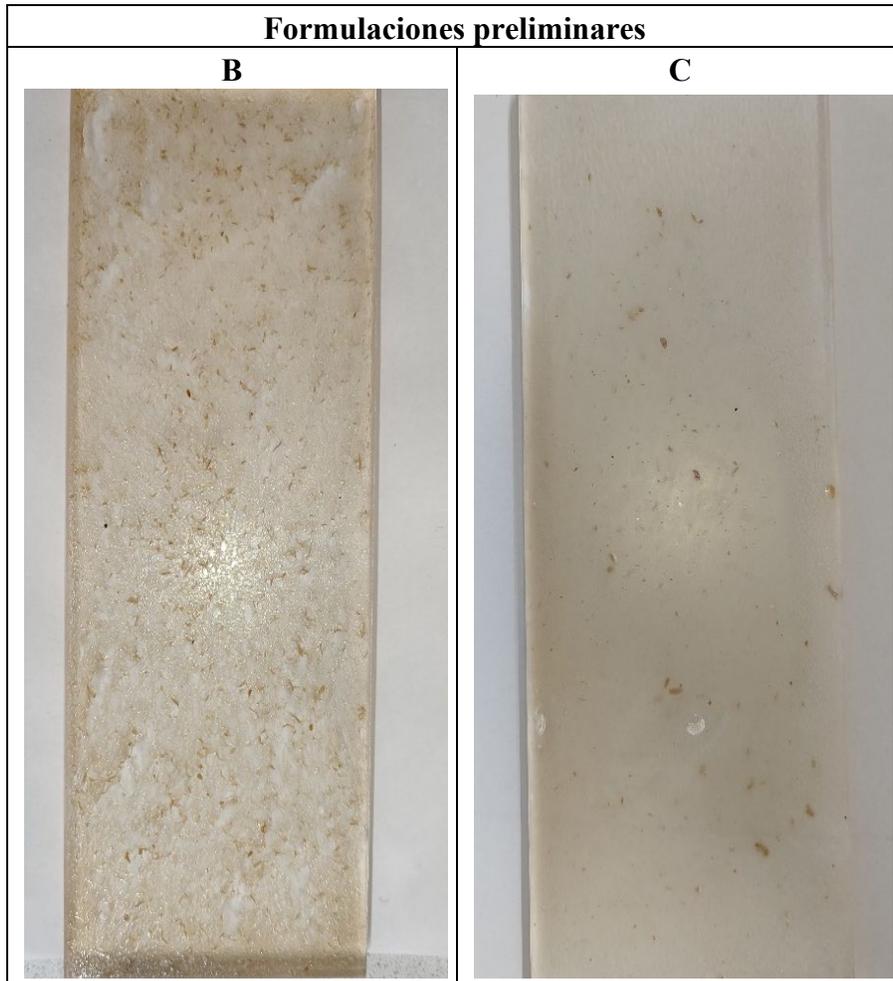
Formulación	Pectina de maracuyá (g)	Agua (g)	Alcohol polivinílico (g)	Glicerol 99% (g)
B	2	100	1,2	10
C	2,5	100	1,2	10

Nota. La tabla muestra las doce formulaciones preliminares diferentes para elaborar la biopelícula.

A continuación, se observan los resultados obtenidos a partir de las formulaciones planteadas inicialmente como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 22.

Resultados preliminares para elaborar las películas biodegradables



Nota. La tabla muestra las dos formulaciones preliminares diferentes para elaborar la biopelícula.

En cuanto a la formulación B, la biopelícula no obtuvo resultados favorables debido a que mostró inestabilidad en el proceso de moldeado, porosidad y grumos de pectina, lo que generó fragilidad en la biopelícula. Para la formulación C se observó que al aumentar la concentración de pectinas se obtiene una mejor biopelícula, ya que esta mejoró su textura y resistencia no obstante también mostró algunos grumos de alcohol polivinílico debido a que la mezcla no se solubilizó por completo en agua.

Teniendo en cuenta la síntesis para la elaboración de una biopelícula usando las pectinas extraídas de la cáscara de maracuyá se realizó un diseño experimental tomando como punto de partida los resultados favorables obtenidos en la formulación preliminar. Por lo tanto, se planteó un diseño de experimentos factorial donde se varía la cantidad de pectina en gramos y la cantidad de alcohol polivinílico con diseño 3×2. Cabe resaltar que se realizó una réplica a los diseños establecidos para la formulación de la biopelícula con el fin de corroborar los datos obtenidos.

Tabla 23.

Diseño de experimentos final para la elaboración de las biopelículas

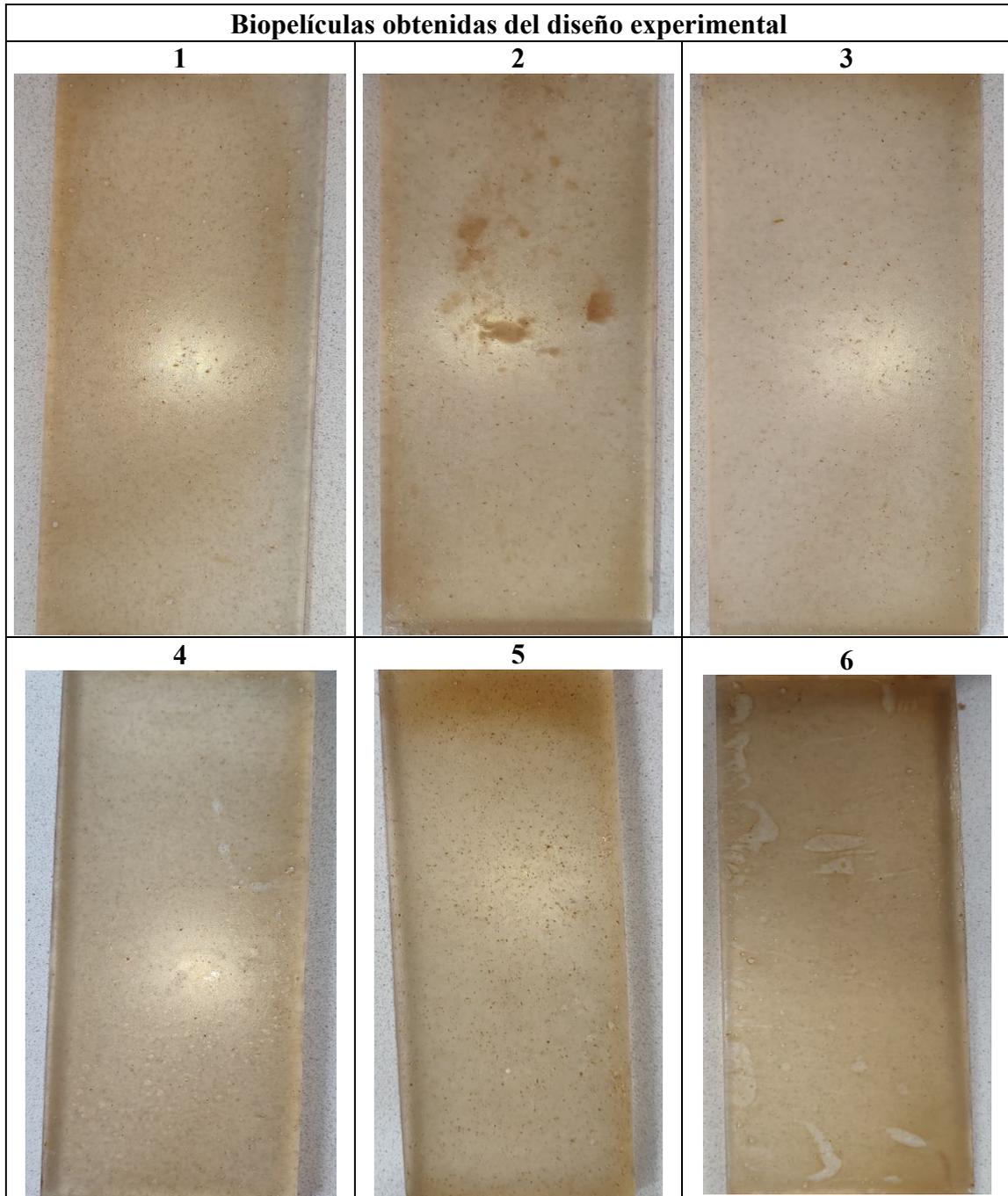
Formulación	Pectina de maracuyá (g)	Agua (g)	Alcohol polivinílico (g)	Glicerol 99% (g)
1	3	100	1,4	10
2	3	100	1,6	10
3	3	100	1,8	10
4	4	100	1,4	10
5	4	100	1,6	10
6	4	100	1,8	10

Nota. la tabla permite evidenciar el diseño de experimentos establecido para las formulaciones finales

Luego de plantear el diseño de experimentos final para la elaboración de la biopelícula, se siguió el esquema *para el proceso de elaboración de una biopelícula a partir de pectinas* realizando las dos mezclas agua-alcohol polivinílico con agitación magnética hasta alcanzar temperatura de solubilidad y observar que la mezcla no contenía grumos que pudieran afectar el resultado del experimento, luego se mezcló el resultado de las dos muestras y se esperó hasta alcanzar la gelatinización de la mezcla final para ser vertido en las placas de acrílico .

Tabla 24.

Formulaciones preliminares para elaborar las biopelículas finales



Nota. la tabla permite evidenciar el diseño de experimentos establecido para las formulaciones finales

A partir de las formulaciones obtenidas con base al diseño de experimentos se puede evidenciar cualitativamente que tiene mejor textura con menos rugosidad y porosidad en comparación con las muestras obtenidas con las formulaciones preliminares. Por ende, se procede a realizar la caracterización física y mecánica de cada una de las biopelículas obtenidos a partir de la tabla 20.

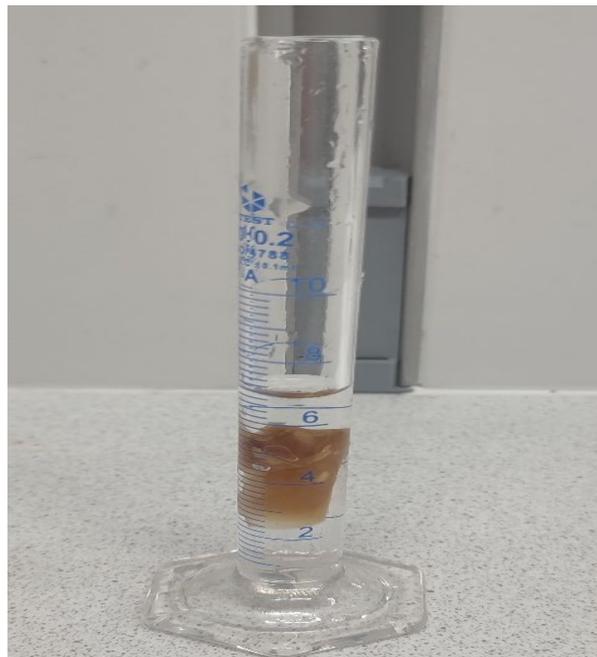
4.1. Caracterización de las biopelículas

4.1.1. Densidad

Para la determinación la densidad de las biopelículas se tomó una muestra de cada formulación de aproximadamente 1,0 g para posteriormente ser introducida en una probeta de 10 ml, la cual contenía 6 ml de agua destilada, el valor del volumen se determina a partir del valor registrado una vez subió el nivel del agua, siendo este dato el volumen de la película[68].

Figura 23.

Determinación de la densidad de forma experimental



Nota. Esta imagen muestra el proceso realizado para la determinación de la densidad para cada una de las formulaciones finales para obtención de una biopelícula.

Ecuación 11.

Determinación de la densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Nota. La ecuación presentada permite calcular la densidad de una biopelícula [69]. Tomado de: E. Gordon, «CHM101: CHEMISTRY AND GLOBAL AWARENESS». [En línea]. Disponible en: <https://LibreTexts.org>

Luego de determinar el volumen de la biopelícula como se muestra en la imagen anterior se toma la ecuación 11 para determinar la densidad del material como se muestra a continuación.

Tabla 25.

Densidad de las películas obtenidas a partir del diseño

Formulación	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)
1	1,002	0,9	1,113
2	1,004	1,1	0,913
3	1,098	1,2	0,915
4	1,037	1	1,037
5	1,016	1,2	0,847
6	1,017	1,2	0,848

Nota. La tabla muestra los resultados de densidad obtenidos para cada una de las formulaciones realizadas a partir del diseño de experimentos.

Los resultados obtenidos muestran que la densidad de las biopelículas obtenidas a partir de las cáscaras de maracuyá se encuentra entre 1,113g/ml y 0,848 g/ml, resultados que son similares a la densidad de algunos polímeros utilizados en la industria del plástico como se muestra en la tabla 22.

Tabla 26.

Densidad típica de algunos plásticos convencionales

Polímeros	Densidad (g/cm³)
Poli (Tereftalato de etileno) PET	1,290-1,400
Poli (Etileno) de alta densidad -PEAD	0,952-0,965
Poli (Cloruro de vinilo) PVC rígido	1,300-1,580
Poli (Cloruro de vinilo) PVC flexible	1,160-1,350
Poli (Etileno) de baja densidad PEBD	0,917-0,940
Polipropileno PP	0,900-0,910
Poliestireno PS solido	1,040-1,050
Poliestireno PS espuma	Menor a 1,000

Nota. La tabla muestra las densidades que tienen algunos plásticos convencionales en la industria del plástico [70] Tomado de: «Tabela de densidad de e características dos plásticos | Benzeno na Capela». <https://benzenonacapela.wordpress.com/2013/01/20/tabela-de-densidade-e-caracteristicas-dos-plasticos/> (accedido 13 de mayo de 2023).

Lo que nos indica que el material obtenido a partir de los residuos del maracuyá puede ser utilizado a nivel industrial o llegar a remplazar el plástico convencional para productos de un solo uso dadas sus características de densidad, pues la densidad obtenida de manera experimental se encuentra entre 1,113g/ml y 0,848 g/ml similar a densidad reportada por el PVC flexible, polipropileno y poliestireno mostrado en la tabla anterior.

4.1.2. Espesor

Se define espesor como el grosor de un elemento, es decir, que tan grueso o ancho es una capa de material. En ingeniería el espesor define la resistencia o elasticidad de un material y este se puede determinar por medición directa con micrómetro. A nivel industrial la medida más crítica es la del espesor de la película, ya que brinda un reporte esencial con respecto a la vida útil del material y la competencia del producto [71].

El espesor de la biopelícula se determinó utilizando las probetas del ensayo de resistencia a la tracción de dimensiones de 1 x 27 cm y con la ayuda del calibrador pie de rey digital marca

CALIPERS con una resolución de 0,1 mm y una precisión de $\pm 0,2\text{mm}$. Se realizaron 3 medidas aleatorias del espesor en cada muestra analizada y se obtuvo un promedio.

Figura 24.

Pie de ley digital Marca Calipers.



Nota. La tabla muestra los resultados del cálculo de porcentajes de humedad de diferentes muestras de cáscara de maracuyá con mesocarpio, utilizando la ecuación 1.

Donde se observa que el espesor que presenta cada una de las muestras varía de acuerdo a la metodología y la formulación utilizada en el proceso de obtención como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27.

Espesor promedio de la biopelícula obtenida

Formulación	Espesor promedio (mm)
1	0,233
2	0,267
3	0,300
4	0,307
5	0,333
6	0,367

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos al determinar el espesor para cada una de las muestras.

Los resultados obtenidos en la determinación del espesor muestran que este aumenta en cada una de las formulaciones debido a las variaciones que se efectúan en el diseño de experimentos y la homogeneidad de la biopelícula. No obstante, se observa que no hay una variación muy significativa en cada una de las muestras, ya que el espesor de una biopelícula se ve afectado por la concentración de alcohol polivinílico utilizado y la cantidad de pectina.

4.1.3. Solubilidad

La solubilidad en agua se define como el porcentaje de materia seca de la película solubilizada luego de 24 horas de inmersión en agua. De igual manera se define como la capacidad que esta posee de disolverse en agua dependiendo del porcentaje de amilosa y amilopectina cuando se encuentre por encima de la temperatura de gelatinización[72].

Es una de las propiedades más importantes porque se correlaciona con la permeabilidad al vapor de agua. Cuando hay un alto valor de solubilidad, esto significa una alta permeabilidad, por el contrario, si la solubilidad es baja, el potencial de la biopelícula aumenta, lo que brinda una mayor oportunidad de uso como empaque o plástico [73].

Se determina mediante la cantidad de masa seca perdida por la muestra y fue calculada mediante la siguiente ecuación

Ecuación 12.

Determinación del porcentaje de solubilidad.

$$\%Solubilidad = \left(\frac{\text{peso seco inicial} - \text{peso seco final}}{\text{peso seco inicial}} \right) * 100$$

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del porcentaje de solubilidad [74]. Tomado de: A. L. López F y Z. S. Castillo, «Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria», vol. 3, pp. 678-691, 2018.

Para la determinación de la solubilidad se tomó como referencia el artículo “Preparation and characterization of pullulan–chitosan and pullulan–carboxymethyl chitosan blended films”, donde se tomaron muestra para cada formulación de dimensión 1x3 cm y se registró el peso inicial de las películas. Posteriormente fueron sumergidas en un vaso precipitado de 100 ml con aproximadamente 80 ml de agua destilada por 24 horas. Los restos insolubles de las biopelículas fueron filtrados y secados a 105 °C en un horno de convección forzada por 24 horas [75] como se muestra en la siguiente figura:

Figura 25.

Etapas de la prueba de solubilidad



Nota. La tabla muestra las etapas iniciales para realizar la prueba de solubilidad en agua (Muestra inicial y muestra en agua).

Luego de secar las muestras se pesan para determinar el peso seco final de la muestra en cada formulación planteada para determinar el porcentaje insoluble de la biopelícula obteniendo como resultados los siguientes datos:

Tabla 28.

Porcentajes de solubilidad para cada ensayo

Formulación	Peso inicial seco (g)	Peso final seco (g)	% Solubilidad
1	0,118	0,075	57,33
2	0,127	0,082	54,88
3	0,094	0,063	49,21
4	0,115	0,079	45,57
5	0,084	0,058	44,83
6	0,11	0,072	52,78

Nota. La tabla muestra la solubilidad en agua de cada una de las muestras estudiadas.

La biopelícula que presentó mayor solubilidad es la obtenida en la formulación 1 con un valor de 57,33%, mientras que la formulación que presentó menor solubilidad es la formulación 5 con 44,83% reportando valores de solubilidad altos debido a que la mayoría de los componentes de la formulación de la biopelícula elaborada a partir de la pectina de la cáscara de maracuyá son solubles en agua y se disuelven fácilmente. Debido a que las biopelículas obtenidas tienen un porcentaje de solubilidad alto no podrían ser utilizadas como empaque de alimentos con alto contenido de humedad como contenedores de bebidas, entre otros. Sin embargo, su alta solubilidad y biocompatibilidad podría ser utilizada como recubrimiento comestible de algunos productos alimenticios con bajo contenido de humedad o también utilizado como bioplástico para empaques y envases de un solo uso.

4.1.4. Resistencia a la tracción

Para la determinación de las propiedades de la prueba de resistencia a la tracción se tomaron las muestras planteadas en el diseño de experimentos final para la obtención de la biopelícula variando las composiciones de pectina, el plastificante (glicerol) y Alcohol polivinílico (PVA) que actuará como refuerzo de la biopelícula. Con el fin de identificar la película más adecuada para reemplazar el plástico convencional e identificar la muestra con mayor resistencia.

La resistencia a la tracción o rotura es una relación entre la longitud original y la longitud calibrada de una muestra, la cual permite determinar la capacidad que tiene un material para resistir el cambio de forma sin deteriorarse. Utilizando un extensómetro para tener una mejor precisión en la elongación y estiramiento de la muestra durante la fuerza aplicada por el equipo.

El ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción se realizó en una maquina universal de ensayos marca Shimadzu modelo AGS-50kNX como se muestra en la siguiente figura 26.

Figura 26.

Maquina Universal de ensayos Shimadzu



Nota. La imagen corresponde a la máquina de ensayo universal empleada durante la evaluación de las probetas que se obtuvieron de las distintas formulaciones [76]. Tomado de: «Máquina de prueba universal - AGS-X series - Shimadzu Europa - multi-parámetros / para materiales / electromecánica». <https://www.directindustry.es/prod/shimadzu-europa/product-25210-355433.html> (accedido 22 de mayo de 2023).

Para la determinación de las dimensiones de las probetas se trabajó bajo la norma ASTM D822 la cual establece el método de ensayo estándar de las propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas en forma plana (con menos de 1 mm), con una longitud estándar de muestras para el análisis es de 270x10 mm. La norma establece que se debe realizar al menos cinco probetas para cada ensayo [77].

Para la longitud calibrada del ensayo de tracción se empleó una distancia entre apoyos de 35 mm adaptada al extensómetro y una longitud de muestra a analizar de 200 mm. Con una velocidad de ensayo de 15mm/min y a condiciones estándar de la ciudad de Bogotá normales de temperatura y humedad.

La tabla 27 muestra las dimensiones utilizadas para la elaboración de las probetas del ensayo de tracción para cada una de las formulaciones como se muestra a continuación:

Tabla 29.

Dimensiones de las muestras para el ensayo de tracción

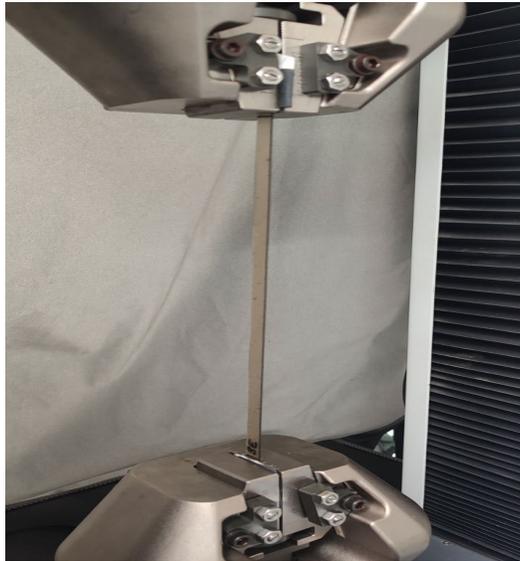
Formulación	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Distancia de apoyos (mm)	Longitud calibrada (mm)
1	0,233	10	35	200
2	0,267	10	35	200
3	0,300	10	35	200
4	0,307	10	35	200
5	0,333	10	35	200
6	0,367	10	35	200

Nota. Esta tabla muestra las dimensiones tomadas para las probetas del ensayo de tracción para cada una de las formulaciones de la biopelícula.

A continuación, se observa cómo se realizó el ensayo en el equipo para evaluar la resistencia a la tracción y deformación para las biopelículas obtenidas a partir de los residuos de la cáscara de maracuyá. Inicialmente se muestra la probeta antes de ser sometida al ensayo mecánico, durante y después del ensayo.

Figura 27.

Ensayo de tensión en probetas antes del ensayo mecánico



Nota. La imagen muestra la probeta de la película antes realizar el ensayo de resistencia.

Figura 28.

Ensayo de tensión en probetas con ruptura



Nota. La imagen muestra la probeta de la película que presento ruptura al realizar el ensayo de resistencia.

Figura 29.

Ensayo de tensión en probetas con alto grado de elongación



Nota. La imagen muestra la probeta de la película que presento un alto grado de elongación antes de realizar la ruptura.

Figura 30.

Probeta de ensayo que presento ruptura



Nota. La imagen muestra una de las probetas que presento ruptura durante la ejecución de las pruebas mecánicas de la biopelícula

La siguiente tabla muestra los resultados para cada una de las probetas analizadas

Tabla 30.*Resultados estrés máximo y porcentaje de tensión máxima para cada ensayo*

Formulación	Max_Fuerza (N)	Max-Tensión (N/mm²)	Max_Deformación (%)	Max_Desplazamiento (mm)
1-1	1,367	0,273	18,177	18,177
1-2	1,232	0,246	28,877	28,877
1-3	1,041	0,208	39,520	39,520
1-4	2,265	0,453	55,582	55,582
1-5	1,160	0,232	39,930	39,930
2-1	1,788	0,358	38,740	38,740
2-2	2,543	0,509	46,097	46,097
2-3	2,265	0,453	22,580	22,580
2-4	2,583	0,517	36,630	36,630
2-5	1,351	0,270	41,275	41,275
3-1	2,289	0,458	35,723	35,723
3-2	1,407	0,281	29,155	29,155
3-3	1,804	0,361	32,445	32,445
3-4	1,605	0,321	34,617	34,617
3-5	0,890	0,178	19,042	19,042
4-1	2,503	0,501	25,385	25,385
4-2	1,995	0,399	22,910	22,910
4-3	1,740	0,348	28,350	28,350
4-4	0,946	0,189	11,530	11,530
4-5	0,319	0,264	11,550	11,550
5-1	1,804	0,361	29,093	29,093
5-2	1,256	0,251	23,560	23,560
5-3	2,130	0,426	25,293	25,293
5-4	2,384	0,477	33,315	33,315
5-5	2,631	0,526	33,832	33,832
6-1	2,869	0,574	36,345	36,345
6-2	0,842	0,168	9,652	9,652
6-3	1,454	0,291	5,132	5,132
6-4	1,709	0,342	14,148	14,148
6-5	0,628	0,126	10,383	10,383

Nota. Resultados de los ensayos de resistencia a tracción y elongación bajo la norma ASTM D882 para cada una de las probetas.

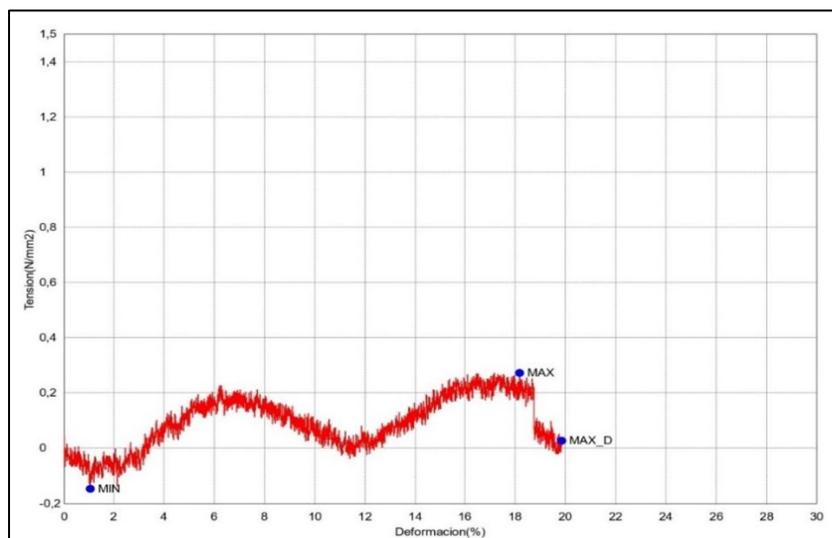
Con relación a los datos reportados en la tabla anterior se observa que a las probetas se les aplicó una fuerza máxima entre un rango de 0,319 N a 2,869 N y un desplazamiento máximo de 55,582 mm mostrando de las probetas obtuvieron un bajo grado de resistencia comparado a la bioplástico obtenido en el trabajo de grado “Desarrollo y caracterización de un bioplástico a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*)”[78], donde la fuerza máxima soportada por el bioplástico fue de 30,34 N para un espesor de 0,20 mm y un desplazamiento de 9,00 mm . De igual manera se logra evidenciar que todas las formulaciones presentaron ruptura por la fuerza a las que fueron sometidas durante el ensayo. La muestra que presento mayor resistencia durante el ensayo fue la 6-1 con una fuerza máxima de 2,869 N.

Se puede observar que las probetas que no soportan fuerzas de tracción elevadas son las que tienen un menor módulo de elasticidad y menos resistencia a la deformación en comparación a las que soportan fuerzas de tracción altas.

A continuación, se muestran las gráficas de deformación con respecto a la tensión y la gráfica de desplazamiento con respecto a la fuerza ejercida de las probetas que obtuvieron mejores resultados (Anexo 1).

Figura 31.

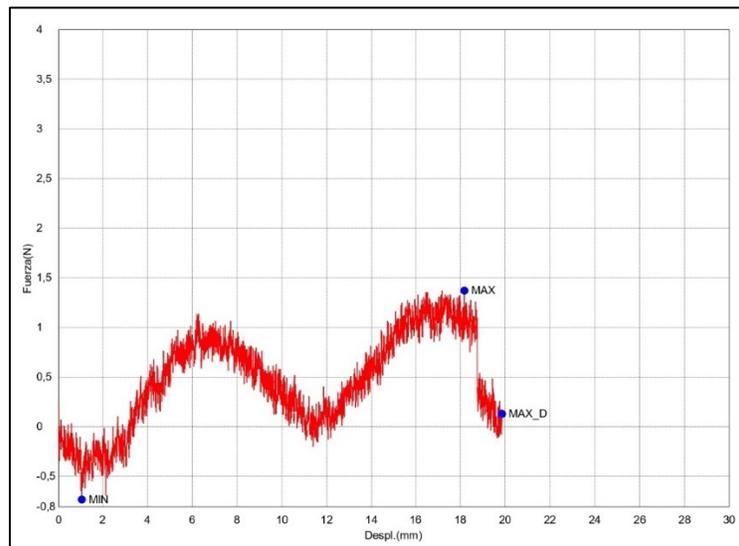
Gráfica de la tensión máxima soportada por la probeta con generación de ruptura



Nota. La gráfica muestra el punto máximo y mínimo de la formulación 1-1 en relación a la deformación de la probeta y la tensión aplicada para una de las probetas que no resistió la máxima cantidad de tensión ejercida durante el ensayo y genero ruptura.

Figura 32.

Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta con generación de ruptura



Nota. La gráfica muestra el punto máximo y mínimo de la formulación 1-1 con relación al desplazamiento de la probeta y la fuerza aplicada para una de las probetas que no resistió la máxima cantidad de fuerza ejercida durante el ensayo y genero ruptura.

Las gráficas mostradas anteriormente permiten evidenciar el comportamiento de la biopelícula del momento al cual es sometida y una fuerza aplicada mostrando en cada una de ellas el punto máximo, mínimo de fuerza. También se logró observar que esta tiene un comportamiento parabólico en el cual aumenta y luego disminuye al momento de la ruptura.

Para finalizar los resultados obtenidos a partir del ensayo de resistencia a la tracción se logra evidenciar que la formulación que presento mejor resistencia mecánica y por lo tanto es la más adecuada para la elaboración de biopelículas es la biopelícula número 5 debido a que esta fue la que tuvo mejores resultados en el transcurso de la repetibilidad de las probetas en cada una de las 5 réplicas realizadas.

Esta formulación soporto una fuerza máxima promedio de 2,041 N y una desviación estándar entre pruebas del 0,535 con una formulación de 4g de pectina, 10 de glicerol y 1,6 alcohol polivinílico, la cual será utilizada en el siguiente capítulo para la elaboración del diseño básico conceptual del proceso de elaboración de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas de la cascará de maracuyá mostrando cada una de las etapas del proceso y su respectivo balance de masa.

5. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA BIOPELÍCULA

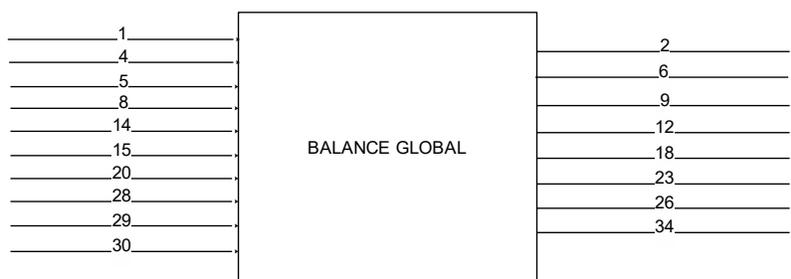
Para establecer el diseño del proceso productivo de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas de la cáscara de maracuyá se elaboró el diseño básico conceptual con los diagramas BFD y PFD junto con su balance de materia para una producción de 1000 ton/año de pectina y 30000 ton/ año de la biopelícula lo que permitiría aprovechar el 3 % de los desechos anuales generados en la ciudad de Bogotá [79], con base a la formulación 5 de 4g de pectina, 10 de glicerol y 1,6 alcohol polivinílico. A partir de este capítulo se busca mostrar cada una de las etapas de funcionamiento del proceso a detalle para la elaboración de una biopelícula a partir de pectina extraída de los residuos del maracuyá desde la etapa de adecuación de la materia prima y hasta la producción de la película describiendo las operaciones y procesos unitarios requeridos en el proceso.

5.1. Diagrama de bloques del proceso

El diagrama de bloques de proceso representa de manera sencilla un proceso productivo; donde cada bloque representa una operación o una etapa del proceso determinando la cantidad de flujos de materias primas y condiciones del proceso. Inicialmente se elaboró el diagrama global del proceso identificando cada una de las corrientes de entrada y salida teniendo en cuenta las entradas de materias primas, las salidas los residuos generados y los productos de interés obtenidos como se muestra en la siguiente figura:

Figura 33.

Diagrama global del proceso de obtención de una biopelícula

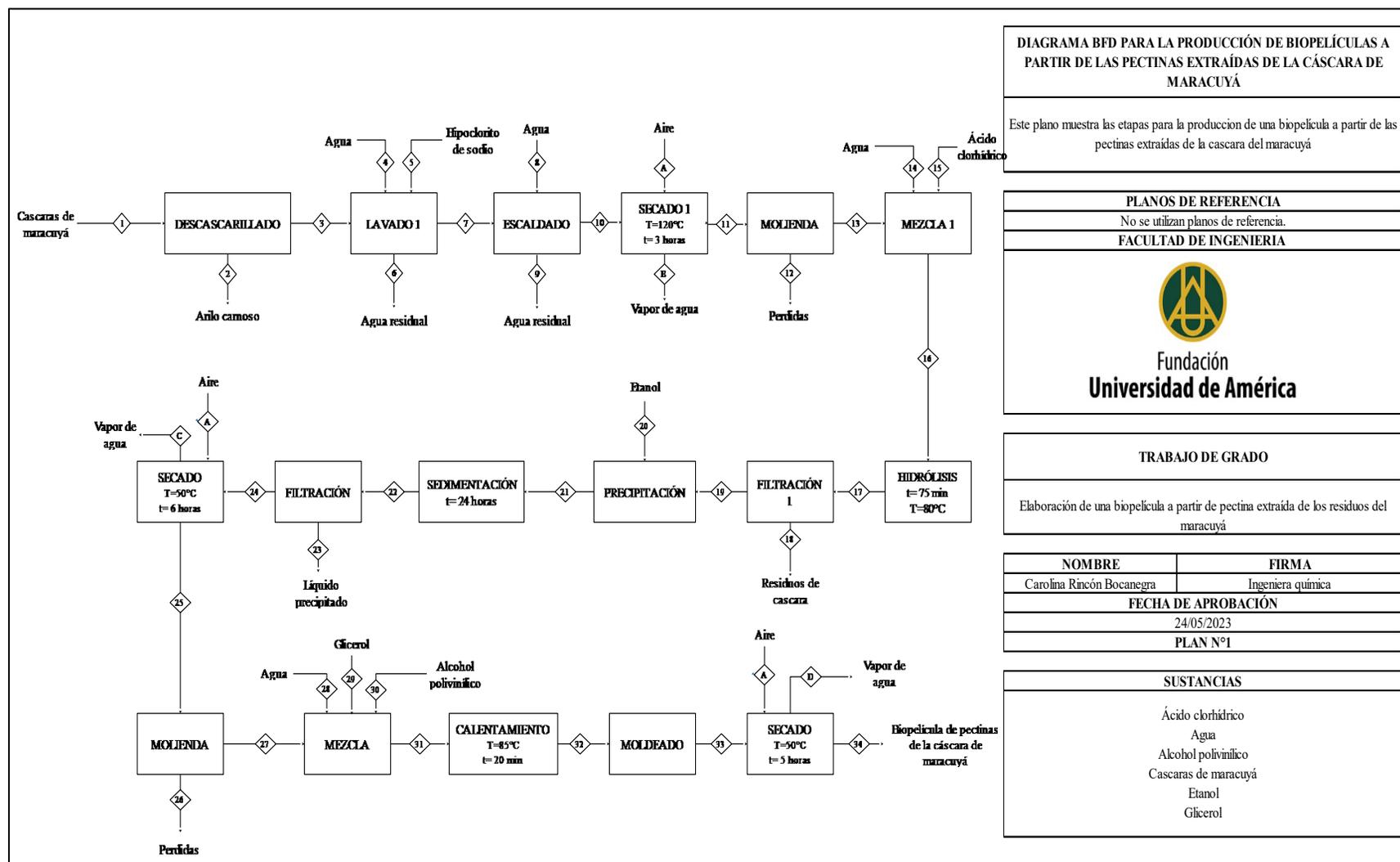


Nota. La figura muestra las corrientes de entrada y salida para la biopelícula a partir de pectinas de la cáscara de maracuyá

Para la elaboración del diagrama de bloques de la elaboración de una biopelícula a partir de pectina extraída de los residuos del maracuyá se tomaron en cuenta las condiciones ambientales y las condiciones requeridas en el secado e hidrólisis como se muestra en el siguiente diagrama.

Figura 34.

Diagrama BFD para la producción de biopelículas a partir de las pectinas de la cáscara de maracuyá



Nota. El diagrama representa el BFD para la producción de biopelículas con sus respectivas operaciones unitarias.

Tabla 31.*Listado de corrientes del proceso*

LISTA DE CORRIENTES	
Numero	Descripción
1	Cáscaras de maracuyá
2	Arilo carnoso de la cáscara de maracuyá
3	Cáscaras de maracuyá limpias
4	Agua potable
5	Hipoclorito de sodio
6	Agua con residuos
7	Cáscara de maracuyá y humedad
8	Agua potable
9	Agua con residuos de escaldado
10	Cáscara de maracuyá y humedad
11	Cáscaras de maracuyá secas
12	Perdidas de la molienda
13	Cáscaras de maracuyá solidas
14	Agua desionizada
15	Ácido clorhídrico al 37%
16	Mezcla de la hidrólisis
17	Material hidrolizado
18	Residuos de las cáscaras de maracuyá solidas
19	Liquido hidrolizado
20	Etanol al 97%
21	Precipitado de pectina
22	Precipitado de pectina y etanol
23	Liquido precipitado
24	Pectina de cáscara de maracuyá
25	Pectina seca
26	Perdidas de la molienda de pectina
27	Pectina seca molida
28	Agua desionizada
29	Glicerol
30	Alcohol polivinílico
31	Mezcla de pectina con aditivos
32	Mezcla de la biopelícula a 50°C
33	Biopelícula moldeada
34	Biopelícula seca

Nota. La tabla muestra cada una de las corrientes de entrada y de salida con la descripción de la corriente para el diagrama de bloques BFD

5.2. Diagrama de flujo de procesos PFD

El diagrama PFD nos muestra las corrientes de entrada y salida del proceso para la producción de la biopelícula con base a la mejor formulación del diseño de experimentos, evidenciando cada uno de los componentes principales para una planta de producción bajo condiciones de operación requerida y de control.

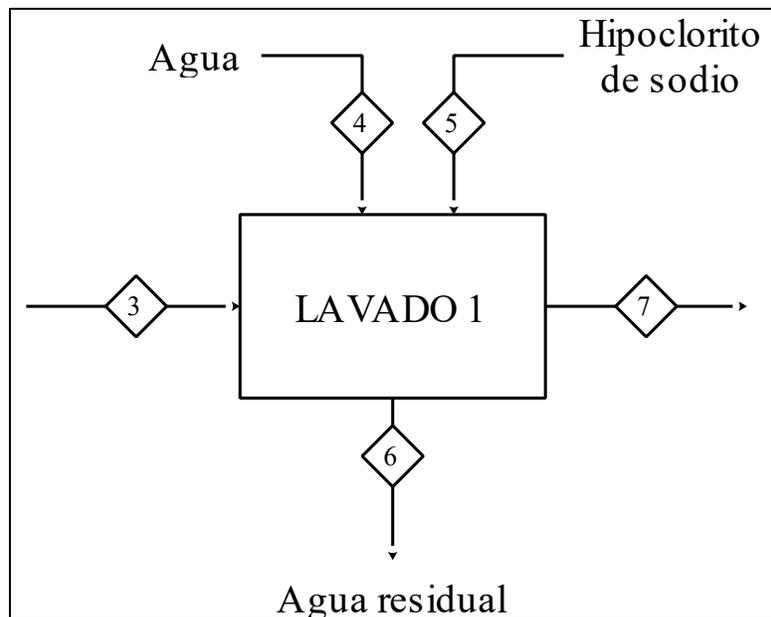
5.2.1. Balance de materia

Para el análisis del balance de materia se utilizará una producción de 1000 ton/año de pectina, 30000 ton/ año de la biopelícula y una cantidad de materia prima de residuos cáscaras de maracuyá de ingreso de 80000 ton/ año como punto inicial para realizar el balance.

A continuación, en la figura 33 se muestra el diagrama de flujo de la unidad de lavado para el acondicionamiento de los residuos con sus respectivas corrientes, posteriormente, se observa un cálculo típico correspondiente al balance de masa de la unidad.

Figura 35.

Balance de masa para lavado del acondicionamiento de los residuos



Nota. La figura muestra los flujos de entrada y salida para cada etapa del lavado en el acondicionamiento de la materia prima

En las siguientes ecuaciones se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_3 + m_4 + m_5 - m_6 = m_7$$

$$m_3 = 9400 \frac{kg}{h}$$

$$m_4 = v_{H_2O} * \rho_{H_2O}$$

$$m_4 = 4 m^3 * 1000 \frac{kg}{m^3} = 40000 \frac{kg}{h}$$

$$m_5 = v_{NaClO} * \rho_{NaClO}$$

$$m_5 = 0,067 cm^3 * 1110 \frac{kg}{m^3} = 74 \frac{kg}{h}$$

$$m_3 = 26666 \frac{kg}{h}$$

$$m_7 = 9400 \frac{kg}{h} + 40000 \frac{kg}{h} + 74 \frac{kg}{h} - 26666 \frac{kg}{h}$$

$$m_7 = 22807 \frac{kg}{h}$$

El balance de materia permite evidenciar las composiciones de cada componente presente en el proceso al igual que las condiciones básicas de operación como se muestra en las siguientes tablas realizadas para el diagrama de proceso, realizando de manera análoga el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de los balances de masa en las demás unidades de proceso, a continuación, se muestran las tablas de resumen los balances de masa para todas las corrientes involucradas.

Tabla 32.*Balance de materia del proceso de la corriente 1 hasta la 10*

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	10000	600	9400	40000	74	26666	22807	33333	21666	34474
Flujo másico por componentes (kg/h)										
Cáscaras de maracuyá	1000	-	1000	-	-	-	2053	-	-	1034
Residuos	600	600	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-	26666	-	-	-	-
Agua	8400	-	8400	40000	74	-	20754	33333	21666	33439
Hipoclorito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuos de cáscaras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcohol polivinílico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pectina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. La tabla muestra el balance de las primeras corrientes del proceso**Tabla 33.***Balance de materia del proceso de la corriente 11 hasta la 20*

Corrientes	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	120	25	25	25	25	80	25	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	693	62	631	30000	119	30749	11064	19685	9205	28890
Flujo másico por componentes (kg/h)										
Cáscaras de maracuyá	693	-	631	-	-	631	-	-	-	-
Residuos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	-	-	-	30000	-	30000	-	19566	-	14149
Hipoclorito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdidas	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuos de cáscaras	-	-	-	-	-	-	11064	-	-	-
Ácido clorhídrico	-	-	-	-	119	119	-	119	-	119
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	9205	9205
Alcohol polivinílico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pectina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5417
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. La tabla muestra el balance de las segundas corrientes del proceso

Tabla 34.*Balance de materia del proceso de la corriente 21 hasta la 30*

Corrientes	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura (°C)	120	25	25	50	25	25	25	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	28890	23473	5417	135	1	134	3333	53	333	3854
Flujo másico por componentes (kg/h)										
Cáscaras de maracuyá		-		-	-				-	
Residuos	-		-	-	-		-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-			-	-	-
Agua	14149	14149					3333			3333
Hipoclorito de sodio	-	-	-	-	-		-	-	-	-
Perdidas	-	-	-	-	1		-	-	-	-
Residuos de cáscaras	-	-	-	-	-		-		-	-
Ácido clorhídrico	119	119								
Etanol	9205	9205	-	-	-		-	-	-	
Alcohol polivinílico	-	-	-	-	-		-	53	-	53
Pectina	5417		5417	135		134				134
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-	333	333

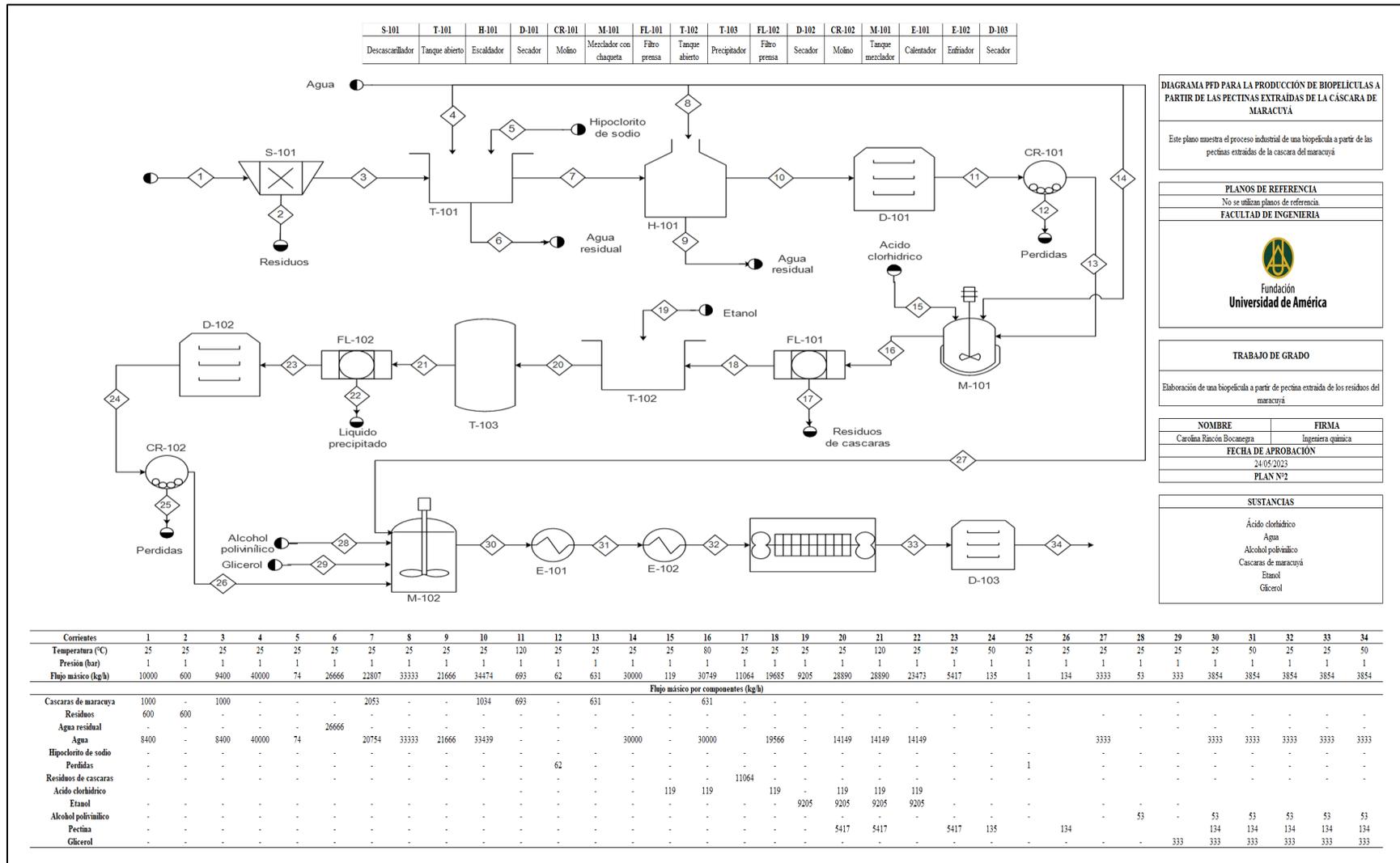
Nota. La tabla muestra el balance de las terceras corrientes del proceso**Tabla 35.***Balance de materia del proceso de la corriente 31 hasta la 34*

Corrientes	31	32	33	34
Temperatura (°C)	50	25	25	50
Presión (bar)	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	3854	3854	3854	3854
Flujo másico por componentes (kg/h)				
Cáscaras de maracuyá				
Residuos	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-
Agua	3333	3333	3333	3333
Hipoclorito de sodio	-	-	-	-
Perdidas	-	-	-	-
Residuos de cáscaras	-	-	-	-
Ácido clorhídrico				
Etanol				
Alcohol polivinílico	53	53	53	53
Pectina	134	134	134	134
Glicerol	333	333	333	333

Nota. La tabla muestra el balance de las cuartas corrientes del proceso

Figura 36.

Diagrama PFD para la producción de biopelículas a partir de las pectinas de la cáscara de maracuyá



Nota. El diagrama representa el PFD para la producción de biopelículas a nivel industrial

El diagrama de flujo de proceso descrito anteriormente nos muestra de manera conceptual la distribución de flujos, unidades de proceso y condiciones de operación requeridas para la producción de 30000 ton/año de biopelícula a partir de las pectinas de la cascara de maracuyá, lo cual permite dar una primera aproximación para el diseño definitivo, escalado correspondiente del proceso, el análisis de costos.

CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica realizada a los residuos de la cascara de maracuyá permitió determinar que se debe realizar un pretratamiento y adecuación para generar un aprovechamiento y conservación de este.

Fue posible la extracción de pectina de la cáscara del maracuyá por el método de convencional de hidrólisis acida con ácido clorhídrico concentrado al 37%, en la acidulación con agua en un pH de 2 y un tiempo de hidrólisis de 70 min a 80°C. El rendimiento de la pectina en base seca fue del 20,74%

La pectina obtenida presento una humedad del 12 %, un porcentaje de ácido galacturónico del 35% con una pureza baja, un grado de esterificación del 76%, 8,8% de contenido de metoxilo clasificándose como una pectina con alto contenido metoxilo y gelificación rápida, 0,87 mEq/g de acidez libre, 1149.02 mg/meq de peso equivalente de la pectina.

Se elaboro una biopelícula a partir de las pectinas de los residuos de la cáscara de maracuyá la formulación que arrojó mejores resultados contiene 1,6 g de alcohol polivinílico, 4 g de pectina y 10 g de glicerina mediante el método de casting en una lámina acrílica; La biopelícula obtuvo una densidad del 0,847 g/ml, 0,333 mm de espesor, 44,83% de solubilidad en agua en un periodo de 24 horas y una resistencia a la tracción con una fuerza máxima promedio de 2,041 N y una desviación estándar entre pruebas del 0,535 bajo la norma ASTM D822 .

Se realizo el diseño básico conceptual para 30000 ton/año de la biopelícula de pectinas de cascara de maracuyá en el cual se elaboró los diagramas de procesos y su respectivo balance de masa para el proceso de producción industrial a gran escala.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una formulación con la adición de almidón, pectina, glicerol y alcohol polivinílico con el fin de observar el comportamiento de la biopelícula agregando un agente de refuerzo al proceso de elaboración.

Realizar el moldeo de la biopelícula mediante la ayuda de otras laminas que permitan tener una uniformidad en el espesor de la biopelícula.

Se recomienda realizar el P&ID con la instrumentación y control de procesos para la elaboración de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas de la cáscara de maracuyá.

Se recomienda para el proceso de precipitación de la pectina con etanol a hacer una recuperación de este mediante del ruta evaporador con el fin de disminuir los costos de adquisición del etanol.

Se sugiere realizar la extracción de pectinas bajo otros métodos como extracción enzimática o asistida por ultrasonido, para realizar una comparación con la extracción por hidrólisis ácida y evaluar en rendimiento en cada uno de estos métodos.

Se sugiere realizar la extracción de pectinas evaluando otros solventes ácidos diferentes al ácido clorhídrico.

Se recomienda realizar un lavado disolviendo la pectina en agua acidulada para mejorar la coloración de esta y precipitarla nuevamente

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda realizar para futuras investigaciones la simulación del proceso, el escalamiento de equipos y el análisis de costos para validar la viabilidad técnica y financiera del proyecto presentado en este trabajo.

Se recomienda realizar las pruebas físicas y mecánicas a la prueba blanco para determinar dichas características y generar una comparación entre la biopelícula obtenida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Jaramillo, J. Cárdenas, y J. Orozco, *Manual sobre el cultivo del maracuyá (Passiflora edulis) en Colombia*, 1.^a ed., vol. 1. Palmira: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2009. [En línea]. Disponible en: www.produmedios.org
- [2] A. Martín, «¿Cuánto plástico consumes al año?», *Hipertextual*, 10 de marzo de 2021. <https://hipertextual.com/2019/06/calculadora-plastico> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [3] A. Avellán y D. Díaz, «OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.)», 2019. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/215974004/html/> (accedido 24 de mayo de 2023).
- [4] D. A. Ángel Umbarila, «Análisis del desarrollo sostenible de la industria polimérica en Colombia.», feb. 2022, Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8902>
- [5] Y. Vargas y L. Pérez, «APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE», *Revista facultad de ciencias basicas*, vol. 14, n.º 1, pp. 59-72, 2018, doi: 10.18359/rfcb.xxxx.
- [6] L. Peñaranda, S. Montenegro, y P. Giraldo, «Aprovechamiento de residuos agroindustriales», abr. 2017.
- [7] E. Peñalosa, «GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA», Bogotá D.C., 2014.
- [8] M. Mantilla, «CARACTERIZACIÓN DE PECTINA EXTRAÍDA A PARTIR DE RESIDUOS DE FRUTA», Bogotá D.C., oct. 2020.
- [9] C. Colodel, L. C. Vriesmann, R. F. Teófilo, y C. L. de Oliveira Petkowicz, «Extraction of pectin from ponkan (*Citrus reticulata* Blanco cv. Ponkan) peel: Optimization and structural characterization», *Int J Biol Macromol*, vol. 117, pp. 385-391, oct. 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.05.048.

- [10] S. G. Kulkarni y P. Vijayanand, «Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.)», *LWT*, vol. 43, n.º 7, pp. 1026-1031, 2010, doi: 10.1016/j.lwt.2009.11.006.
- [11] «CADENA DEL PASIFLORAS», Bogotá D.C., 2021.
- [12] J. Rentería, «PROCESAMIENTO DE FRUTAS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) PARA OBTENCIÓN DE PECTINA, EN MACHALA», 2013.
- [13] A. Veliz, «Caracterización química y estabilidad aeróbica de tres variedades de cáscara de maracuyá.», *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*, pp. 1-73, nov. 2017, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2707>
- [14] Rendón Marín D.-Parra Velásquez J.A. - Vargas Castrillón J.D, «Extracción de pectinas», *Microciencia*, vol. 7, pp. 1-7, nov. 2018.
- [15] A. M. Stephen, G. O. Phillips, y P. A. Williams, «Food Polysaccharides and Their Applications», 2006.
- [16] J. Devia Pineda, «Proceso para producir Pectinas Cítricas», Medellín , ene. 2002.
- [17] V. Y. Zegada Franco, «EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO)», *Investigación & Desarrollo*, vol. 1, n.º 15, pp. 65-76, 2015, Accedido: 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [18] V. Zegada, «EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO)», *Universidad privada bolivariana*, vol. 1, n.º 15, pp. 65-76, may 2015.
- [19] E. C. Henao *et al.*, «EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA APARTIR DE CÁSCARAS DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN», Cartagena, 2012.

- [20] E. Quintero, «Evaluación de la incidencia del método de extracción en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de pectina obtenida de la cáscara de curuba (*passiflora mollissima*)», Bogotá D.C., 2019. [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos
- [21] H. S. Owens, J. C. Miers, y W. Dayton Maclay, «DISTRIBUTION OF MOLECULAR WEIGHTS OF PECTIN PROPIONATES», Albany, mar. 1948.
- [22] S. Ferreira, «Pectinas : aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial», *Universidad Nacional de Colombia*, vol. 1, n.º 978-958-701-862-2, pp. 1-189, 2007.
- [23] K. Orozco y S. Villa, «EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE PECTINA EXTRAÍDA DE LA PULPA DE CAFÉ ARÁBICA», Bogotá D.C., 2021.
- [24] T. Matute, «EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA DE LA CÁSCARA DE LA CHIRIMOYA (*Annona cherimola*), DETERMINANDO SU CAPACIDAD DE MODIFICADOR REOLÓGICO», Ecuador, 2019.
- [25] E. Avila, «EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE PIÑA (*ANANAS COMOSUS*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA», *UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)*, pp. 1-77, 2019.
- [26] M. A. Vallejos Jiménez, «Desarrollo de películas biodegradables a base de pectinas extraídas de los subproductos del beneficio del café por hidrólisis ácida Development of biodegradable films based on pectins extracted from coffee processing by-products by acid hydrolysis», 2022.
- [27] P. Phillips, R. Wolcott, J. Fletcher, y G. Schultz, «Biofilms made easy», may 2010. [En línea]. Disponible en: www.woundsinternational.com
- [28] J. Escobar, «“ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPELÍCULAS ELABORADAS CON QUITOSANO Y ADICIONADAS CON PARTÍCULAS DE ALMIDÓN”», México, mar. 2020.

- [29] E. A. Mayhure, Y. Cuadros Huamaní, L. M. Zanardi, y E. Medina De Miranda, «Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana», may 2019.
- [30] P. J. P. Espitia, W. X. Du, R. de J. Avena-Bustillos, N. de F. F. Soares, y T. H. McHugh, «Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review», *Food Hydrocolloids*, vol. 35. pp. 287-296, marzo de 2014. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.06.005.
- [31] N. Chocano, «PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UNA BIOPELICULA FORMULADA CON ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y MUCILAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus*)», Perú, 2019.
- [32] M. M. A. Beltrán, «Estructura y propiedades de los polímeros».
- [33] L. G. Solano-Doblado, L. Alamilla-Beltrán, y C. Jiménez-Martínez, «Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados», *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 21, p. 30, ago. 2018, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153.
- [34] E. López, V. Pacheco, y A. Romero, «Cuantificación y evaluación de la calidad de pectina extraída de cáscaras en tres variedades de mango (*Mangifera indica* L.) de la región mixteca baja poblana», *Revista Ingeniantes*, vol. 1, pp. 85-91, 2019.
- [35] O. Neira, «EVALUACION DE PROPIEDADES DE TRANSPORTE Y MECANICAS DE BIOPELICULAS A BASE DE ALMIDON DE JICAMA (*PACHIRHIZUS EROSUS* L. URBAN)Y MAIZ (*ZEA MAYS*).», México, nov. 2015.
- [36] H. J. Park y M. S. Chinnan, «Gas and Water Vapor Barrier Properties of Edible Films from Protein and Cellulosic Materials», Georgia, jun. 1995. doi: 0260-8774.
- [37] L. Atarés y A. Chiralt, «Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging», *Trends in Food Science and Technology*, vol. 48. Elsevier Ltd, pp. 51-62, 1 de febrero de 2016. doi: 10.1016/j.tifs.2015.12.001.
- [38] A. E. C. Fai *et al.*, «Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.)», *Postharvest Biol Technol*, vol. 112, pp. 194-204, feb. 2016, doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.09.021.

- [39] M. Rivadeneira y P. Cáceres, «Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (*Passiflora edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia», *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- [40] J. A. Casas, H. B. Castillo, J. M. Noy, A. N. Palomares, y R. L. Rodríguez, «ELABORACIÓN DE PAPEL INDICADOR A BASE DE EXTRACTOS NATURALES: UNA ALTERNATIVA FUNDAMENTADA EN EXPERIENCIAS DE LABORATORIO PARA EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE pH», España, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978009>
- [41] «ASTM D1067-16». https://www.techstreet.com/standards/astm-d1067-16?product_id=1919072 (accedido 31 de mayo de 2023).
- [42] L. V. A. Arias, V. de S. Silva, R. A. de Oliveira, y F. M. Fakhouri, «Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá», *Ingeniería y Región*, vol. 20, pp. 59-66, dic. 2018, doi: 10.25054/22161325.1916.
- [43] E. I. Coloma Olmedo, «Estudio del efecto de la Deshidratación Osmótica en la Vida Útil de los Productos Secos», Ecuador, 2008.
- [44] «Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate», abr. 2009. [En línea]. Disponible en: www.astm.org
- [45] A. B. M. Lima-Neto, M. M. M. Marques, F. N. P. Mendes, Í. G. P. Vieira, D. B. Diniz, y M. I. F. Guedes, «Antioxidant activity and physicochemical analysis of passion fruit (*Passiflora glandulosa* Cav.) pulp native to Cariri region», *Acta Sci Biol Sci*, vol. 39, n.º 4, pp. 417-422, oct. 2017, doi: 10.4025/ACTASCIBIOLSCI.V39I4.34045.
- [46] C. Lara, L. S. Nerio, y L. E. Oviedo, «EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DE LA GUAYABA AGRÍCOLA (*Psidium araca*) EN DOS ESTADOS DE MADURACIÓN», may 2007.
- [47] «Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal», oct. 2002.
- [48] I. Cazar, «Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas», Quito, 2016.

- [49] «[PDF] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5468 - Free Download PDF». <https://silo.tips/download/norma-tecnica-colombiana-5468> (accedido 31 de mayo de 2023).
- [50] «Ntc4623 Productos De Frutas Y Verduras ... - ID:5c8816e4a3b61». <https://baixardoc.com/documents/ntc4623-productos-de-frutas-y-verduras--5c8816e4a3b61> (accedido 31 de mayo de 2023).
- [51] F. S. Flores More y J. L. Sosa León, «Jam based on “passion fruit” (*Passiflora edulis* Sims) pulp and peel sweetened with stevia», *Agroindustrial Science*, vol. 12, n.º 2, pp. 157-163, ago. 2022, doi: 10.17268/agroind.sci.2022.02.04.
- [52] J. David, G. Guzman, K. Tatiana, y M. Lopez, «Propuesta del proceso para la obtención de pectina partiendo de la cáscara de gulupa a escala piloto», feb. 2021, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8310>
- [53] J. David, G. Guzman, K. Tatiana, y M. Lopez, «Propuesta del proceso para la obtención de pectina partiendo de la cáscara de gulupa a escala piloto», feb. 2021, Accedido: 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8310>
- [54] G. Escobedo, «“VALORIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis* F. *flavicarpa* Deg.) COMO SUB PRODUCTO PARA OBTENER PECTINA USANDO COMO AGENTE HIDROLIZANTE ÁCIDO CÍTRICO”», Chiclayo, feb. 2013.
- [55] L. Mendoza, J. Jiménez, y M. Ramírez, «EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)», *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, vol. 1, 2017, doi: 20 (1): 131 - 138.
- [56] M. Apolo, «Estudio comparativo del rendimiento de la obtención de pectina a partir de los residuos de especies del género *Passiflora* mediante hidrólisis con diferentes ácidos.», Ecuador, mar. 2019.
- [57] M. Cuesta y R. Muñoz, «Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* degener)».
- [58] M. Cuesta y R. Muñoz, «Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* degener)».

- [59] L. Mendoza, J. Jiménez, y M. Ramírez, «EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)», vol. 1, n.º 20(1): 131-138, pp. 1-8, jun. 2017.
- [60] «Food chemicals codex», Washington, D.C., 1996.
- [61] F. Cornejo y M. Tenerio, «“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PECTINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) EXTRAÍDA MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA Y EVALUADA CON EL DISEÑO DE BOX-BEHNKEN, LAMBAYEQUE», *ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR*, 2014.
- [62] B. M. Yapo, C. Robert, I. Etienne, B. Wathelet, y M. Paquot, «Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts», *Elsevier*, vol. 1, n.º 1356-1364, pp. 1-9, 2005, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.12.012.
- [63] M. Guerra y D. Rueda, «PRODUCCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE LAS PECTINAS EXTRAÍDAS DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ», Bogotá D.C., 2021.
- [64] B. Mendoza, E. Gómez, E. Hernández, A. B. Norberto Chavarria Mendoza, E. Herandez, y A. N. Rodriguez Chavarria, «Elaboración y caracterización de películas biodegradables a partir de mucilago de nopal-caseinato de sodio y mucilago de nopal-pectina».
- [65] A. Arrieta, L. Durando, y E. Arizal, «Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)», nov. 2018.
- [66] G. Alfonso, A. Hernandez, y E. Duque, «LINEAMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD ANALÍTICA», feb. 2006.
- [67] M. E. Alemán Huerta, «Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (cast-films) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y alcohol polivinilico (pvoh)», 2006.
- [68] O. Granda y D. Guaya, «Desarrollo de películas biodegradables usando zeolitas impregnadas con plata», 23 de marzo de 2021. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/6751/6726> (accedido 13 de mayo de 2023).

- [69] E. Gordon, «CHEMISTRY AND GLOBAL AWARENESS». [En línea]. Disponible en: <https://LibreTexts.org>
- [70] C. Henrique, R. Palma, y G. Martin, «Tabela de densidade e características dos plásticos | Benzeno na Capela», 2013. <https://benzenonacapela.wordpress.com/2013/01/20/tabela-de-densidade-e-caracteristicas-dos-plasticos/> (accedido 13 de mayo de 2023).
- [71] J. Marcela y G. Bravo, «Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascaras de papa para su aplicación industrial.», may 2019, Accedido: 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11069>
- [72] L. E. Cárdenas Aldaz, «Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de papa chaucha (*Solanum phureja*) para el uso en alimentos», sep. 2021, Accedido: 16 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16741>
- [73] P. Alanis, «EFECTO DE LA FIBRADE Agave tequilana Weber EN LAS CARACTERÍSTICASDE PELÍCULASDE GELATINAY NANOPARTÍCULAS MINERALES», Morelos, jul. 2012.
- [74] A. L. López F y Z. S. Castillo, «Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria», vol. 3, pp. 678-691, 2018.
- [75] J. Wu, F. Zhong, Y. Li, C. F. Shoemaker, y W. Xia, «Preparation and characterization of pullulan–chitosan and pullulan–carboxymethyl chitosan blended films», *Food Hydrocoll*, vol. 30, n.º 1, pp. 82-91, ene. 2013, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2012.04.002.
- [76] «Máquina de prueba universal - AGS-X series - Shimadzu Europa - multi-parámetros / para materiales / electromecánica». <https://www.directindustry.es/prod/shimadzu-europa/product-25210-355433.html> (accedido 22 de mayo de 2023).
- [77] «The Definitive Guide to ASTM D882 Tensile Testing of Thin Plastic Film | Instron». <https://www.instron.com/en/testing-solutions/astm-standards/astm-d882> (accedido 22 de mayo de 2023).
- [78] V. Escribano, «DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIOPLASTICO A PARTIR DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*)», Perú, 2020.

[79] «“Doña Juana” recibió casi 3 millones de toneladas de residuos en 2021». <https://oab.ambientebogota.gov.co/relleno-dona-juana-recibio-casi-3-millones-de-toneladas-de-residuos-en-2021/> (accedido 31 de mayo de 2023)

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE TENSION

