ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS A PARTIR DE PECTINAS EXTRAÍDAS DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) Y PULPA DE CAFÉ (*Coffee arábica*).

JUAN PABLO GONZÁLEZ LÓPEZ

PAOLA NATALY PERALTA MORENO

Proyecto Integral de Grado para optar al título de

INGENIERO QUÍMICO

Director

David Leonardo Sotelo Tobón

Químico. MSc. cPhD.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

David Leonardo Sotelo Tobón

Director de tesis

_____

Harvey Milquez Sanabria

Jurado 1

_____

Dany Cardenas Romay

Jurado 2

Bogotá D.C, julio 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejo Institucional

Dr. LUIS JAIME 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 MACÍAS RODRÍGUEZ

Decana de Facultad de Ingenierías

Dra. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Departamento de Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA

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

DEDICATORIA

A la Virgen y Dios, por llenarme de sabiduría, resiliencia, amor en cada proceso durante mi instancia en la universidad, por su protección y acompañamiento sobre todos mis logros adquiridos.

A mis padres Luis Ernesto y Milena, por brindarme su apoyo, amor y paciencia, porque son el pilar de mi vida, por ser mi ejemplo para seguir, por su dedicación en mi crianza y sobre todo por su incondicional presencia para llenar de alegría cada día de mi vida.

A mi abuelito Alfonso, quien me enseño de nobleza y está protegiéndome, guiándome desde el cielo, por su amor y cariño que jamás me faltaron.

A mi abuelito Luis, por ser uno de mis mayores ejemplos a seguir, por su amor infinito, su apoyo, sus consejos y enseñarme maravillosos valores.

A mi hermana, por su compañía en cada momento, por ser la alegría de mi vida, por la seguridad que me brinda y su total apoyo.

A Paola, quien además de ser mi compañera de tesis ha sido una gran amiga, por brindarme su cariño tan fraternal y apoyo, por qué me ha llenado de carisma desde el inicio.

Juan Pablo González López

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen, por haberme permitido llegar hasta este punto, por brindarme la capacidad y sabiduría durante toda mi vida académica, por su infinita bondad y amor.

A mis padres Alfonso y Flor, a mi hermano Andrés, por ser mi apoyo fundamental durante estos 22 años en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto de la vida, como académica, porque en ustedes encuentro el significado de amor y lealtad, por ser mi ejemplo para seguir, mi motivación y sobre todo por hacer que siempre emane esa alegría que los caracteriza.

A mi Zeus por ser mi sueño hecho realidad, por acompañarme todos los días y noches, por brindarme su amor desinteresado y hacer de mi vida más feliz.

A Juan, mi compañero de tesis, por qué llego a mi vida en el momento indicado, por estos años de universidad y lo que nos resta de vida.

Paola Nataly Peralta Moreno

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primera instancia a Dios y la Virgen, por guiarnos en el camino y por llenarnos de fortaleza en los momentos más difíciles para así iniciar un camino lleno de éxitos.

A nuestro director de trabajo de grado, David Sotelo Tobón, quien con su conocimiento fue una pieza clave en la realización de cada etapa de este proyecto, por su paciencia, dedicación, por brindarnos siempre un apoyo incondicional y considerarnos sus hijos.

Queremos agradecer a Rafael Tovar por el apoyo brindado con una de las materias primas (la pulpa de café tipo arábica), por su conocimiento compartido hacía nosotros y siempre brindarnos una ayuda desinteresada, deseamos éxitos en todas sus labores diarias en su finca La Pedregoza ubicada en la inspección de Santandercito del municipio de San Antonio del Tequendama, Cundinamarca.

A Yuly Arias por brindarnos la cáscara de naranja después de realizar el jugo de naranja que vende en su puesto ubicado en La Campiña, en la localidad de Suba, por desearnos siempre éxitos con nuestro trabajo cada vez que íbamos por la cáscara, igualmente se los deseamos a ella en sus estudios.

A Jenny Hernández y los laboratoristas, por la disposición de los laboratorios y poder realizar en ellos todas nuestras pruebas experimentales de la mejor manera, además por las capacitaciones recibidas para el uso de los equipos.

Queremos agradecer a la base de todo, nuestros padres y hermano/a, quienes estuvieron en todo momento apoyándonos y dándonos fuerzas para sacar adelante este proyecto de grado, gracias por su comprensión, atención, paciencia y, sobre todo, por su amor, por ser nuestro motor de vida y motivación.

Por último, a todos los docentes y compañeros que hicieron parte de toda nuestra formación académica, por ser parte de nuestro crecimiento profesional y personal.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

RESUMEN 15

INTRODUCCIÓN 17

OBJETIVOS 19

1. GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO 20

1.1 Pectinas 20

1.1.1 *Tipos de pectinas* 22

1.1.2 *Métodos de extracción de pectinas* 24

1.1.3 *Propiedades* 26

1.1.4 *Aplicaciones* 29

1.2 Naranja (*C. sinensis*) 29

1.2.1 *Cáscara de naranja (C. sinensis)* 30

1.3 Café (*C. Arábica*) 32

1.3.1 *Pulpa de café (C. Arábica)* 33

1.4 Residuos orgánicos 35

1.4.1 *¿Cómo se generan?* 35

1.4.2 *Composición* 35

1.4.3 *Impacto ambiental* 35

1.5 Biopelículas 35

1.5.1 *Propiedades* 36

1.6 Neopreno 38

1.6.1 *Propiedades y aplicaciones* 39

1.6.2 *Producción* 40

1.6.3 *Impacto ambiental* 41

2. METODOLOGÍA 42
2.1 Caracterización de las materias primas 42
2.2 Obtención de la pectina 44
2.2.1 *Obtención y preparación de la materia prima* 45
2.2.2 *Extracción química* 45
2.2.3 *Precipitación de la pectina* 51
2.2.4 *Recolección de la pectina* 53
2.3 Caracterización de las pectinas 55
2.4 Elaboración de las biopelículas 64
3. RESULTADOS 69
3.1 Propiedades de las materias primas 69
3.1.1 *Humedad* 69
3.1.2 *Cenizas* 70
3.2 Extracción química de la pectina 72
3.3 Recolección de la pectina extraída 77
3.4 Caracterización de la pectina extraída 77
3.4.1 *Peso equivalente y grado de acidez libre* 77
3.4.2 *Porcentaje de metoxilo* 80
3.4.3 *Porcentaje de humedad* 81
3.4.4 *Grado de esterificación* 83
3.4.5 *Contenido de ácido galacturónico* 85
3.5 Propiedades mecánicas de las biopelículas 86
3.5.1 *Resistencia a la tensión* 87
3.5.2 *Dureza Shore* 94
3.5.3 *Permeabilidad* 97

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN 100

4.1 Porcentaje de humedad de las materias primas 100

4.2 Porcentaje de cenizas de las materias primas 100

4.3 Peso equivalente y acidez libre de las pectinas extraídas 101

4.4 Porcentaje de metoxilo presente en las pectinas 102

4.5 Porcentaje de humedad en las pectinas extraídas 103

4.6 Grado de esterificación de las pectinas extraídas 103

4.7 Contenido de ácido galacturónico en las pectinas 104

4.8 Propiedades mecánicas de las biopelículas 105

4.8.1 *Resistencia a la tensión* 105

4.8.2 *Dureza shore* 110

4.8.3 *Permeabilidad* 111

5. DISEÑO PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPELÍCULAS 113

5.1 Diagrama BFD 117

5.2 Diagrama PFD 117

5.3 Balance de masa 117

5.3.1 *Blance de masa para biopelícula fabricada con pectina extraída de cáscara de naranja.* 117

5.3.2 *Blance de masa para biopelícula fabricada con pectina extraída de pulpa de café.* 121

5.4 Especificaciones de equipos 126

6. CONCLUSIONES 129

BIBLIOGRAFIA 131

GLOSARIO 146

ANEXOS 149

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. *Pectina fromada por ácido galacturónico* 21
Figura 2. *Pectina fromada por ácido galacturónico metoxilado* 22
Figura 3. *Pectrina de alto metoxilo* 23
Figura 4. *Pecrtina de bajo metoxilo* *24*
Figura 5. *Naranja tipo Citrus sinensis* 30
Figura 6. *Café tipo Arábica* 33
Figura 7. *Diagrama esfeurzo vs deformación* 37
Figura 8. *Representación del neopreno* 39
Figura 9. *Producción a nivel mundial de neopreno* 41
Figura 10. *Estados de maduración de la naranja* 42
Figura 11. *Estados de maduración de la pulpa de café* 43
figura 12. *Arreglo factorial para el diseño de experimentos a realizar en la hidrólisis ácida* 48
Figura 13. *Montaje de hidrólisis ácida para la cácara de naranja (C. sinensis)* 49
Figura 14. *Montaje de hidrólisis ácida para la pulpa de café (C. arábica)* 50
Figura 15. *Extracción de pectina en beaker de 2000 mL* 51
Figura 16. *Precipitación de la pectina de cáscraa de naranja* 52
Figura 17. *Precipitación de la pectina de pulpa de café* 52
Figura 18. *Pectinas centrifugadas* 53
Figura 19. *Secado de pectinas* 54
Figura 20. *Recuperación de etanol* 55
Figura 21. *Determinación del peso equivalente y acidez libre* 56
Figura 22. *Titulación de la pectina extraída de la cáscara de naranja para la determinación del peso equivalente* 56
Figura 23. *Titulación de la pectina extraída de la pulpa de café para la determinación del peso equivalente* 57
Figura 24. *Proceso de espera para la determinación del grado de acidez libre* 58
Figura 25. *Determinación del contenido de metoxilo* 59
Figura 26. *Determinación de porcentaje de metoxilo posterior a la titulación* 60

Figura 27. *Determinación del porcentaje de humedad* 61
Figura 28. *Prueba de humedad para las pectinas extraídas* 62
Figura 29. *Determinación del grado de esterificación* 63
Figura 30. *Prueba titulada del grado de esterificación en pectinas* 64
Figura 31. *Preparación de biopelículas* 67
Figura 32. *Biopelículas* 68
Figura 33. *Posición inicial de la máquina universal del ensayos con biopelícula asegurada* 87
Figura 34. *Elonganción y rotura de la biopelícula en el ensayo de tensión* 88
Figura 35. *Ensayo 1: biopelícula de pectina de cáscara de naranja* 89
Figura 36. *Ensayo 2: biopelícula de pectina de pulpa de café* 90
Figura 37. *Ensayo 3: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja* 91
Figura 38. *Ensayo 4: biopelícula de pectina de cáscara de naranja con almidón* 92
Figura 39. *Ensayo 5: biopelícula de pectina de pulpa de café con almidón* 93
F**igura 40.** *Ensayo 6: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón* 94
Figura 41. *Medición de dureza shore* 95
Figura 42. *Tabla de conversión dureza shore* 96
Figura 43. *Prueba de permeabilidad* 98
Figura 44. *Comparación previa y finalizada la prueba de resistencia la tensión* 108
Figura 45. *Clasificaión de la dureza shore A* 110
Figura 46. *Balance de masa para la biopelícula de pectina de cáscara de naranja (C.sinensis)* 150
Figura 47. *Balance de masa para la biopelícula de pectina de pulpa de café (C.arábica)* 150
Figura 48. *Informe de las pruebas de tensión* 151
Figura 49. *Continuación del informe de las pruebas de tensión* 152
Figura 50. *Diagrama de bloques de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de cáscara de naranja (C. sinensis) y de pulpa de café (C. arábica)* 154
Figura 51. *Diagrama de proceso de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de cáscara de naranja (C. sinensis) y de pulpa de café (C. arábica)* 155

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. *Composición química de la cáscara de naranja (C.sinensis)* 31
Tabla 2. *Composición química de la pulpa de café (C.arábica)* 34
Tabla 3. *Variables que repercuten de manera significactiva en el proceso de extración de la pectina* 46
Tabla 4. *Formulación de biopelícula sin almidón* 65
Tabla 5. *Formulación de biopelícula con almidón* 66
Tabla 6. *Porcentaje de humedad para la cáscara de naranja (C.sinensis)* 70
Tabla 7. *Porcentaje de humedad para la pulpa de café (C.arábica)* 70
Tabla 8. *Porcentaje de cenizas para la cáscara de naranja (C.sinensis)* 71
Tabla 9. *Porcentaje de cenizas para la pulpa de café (C.arábica)* 72
Tabla 10. *Resultados del rendimiento tiempo de 20 minutos* 73
Tabla 11. *Resultados del rendimiento tiempo de 30 minutos* 73
Tabla 12. *Resultados del rendimiento tiempo de 40 minutos* 74
Tabla 13. *Resultados del rendimiento tiempo de 20 minutos* 74
Tabla 14. *Resultados del rendimiento tiempo de 30 minutos* 75
Tabla 15. *Resultados del rendimiento tiempo de 40 minutos* 75
Tabla 16. *Rendimientos obtenidos para la cáscara de naranja y pulpa de café resumen* 76
Tabla 17. *Comparación de rendimientos obtenidos para la cáscara de naranja y pulpa de café* 76
Tabla 18. *Resultados de peso equivalente para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 78
Tabla 19. *Resultados de peso equivalente para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 78
Tabla 20. *Resultados del grado de acidez libre para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 79
Tabla 21. *Resultados del grado de acidez libre para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 80

Tabla 22. *Resultados del porcentaje de metoxilo para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 81
Tabla 23. *Resultados del porcentaje de metoxilo para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 81
Tabla 24. *Resultados del porcentaje de humedad para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 82
Tabla 25. *Resultados del porcentaje de humead para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 83
Tabla 26. *Resultados del grado de esterificación para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 84
Tabla 27. *Resultados del grado de esterificación para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 84
Tabla 28. *Resultados del contenido de ácido galacturónico para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)* 86
Tabla 29. *Resultados del contenido de ácido galacturónico para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)* 86
Tabla 30. *Ensayo 1: Biopelícula de epctina de cáscara de naranja* 89
Tabla 31. *Ensayo 2: Biopelícula de epctina de pulpa de café* 90
Tabla 32. *Ensayo 3: Biopelícula de epctina de pulpa de café y cáscara de naranja* 91
Tabla 33. *Ensayo 4: Biopelícula de epctina de cáscara de naranja con almidón* 92
Tabla 34. *Ensayo 5: Biopelícula de epctina de pulpa de café con almidón* 93
Tabla 35. *Ensayo 6: Biopelícula de epctina de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón* 94
Tabla 36. *Datos registrados en la medición de dureza shore en las biopelículas elaboradas* 96
Tabla 37. *Dequipos empleados a nivel labpratorio y planta piloto para la extración de la pectina y elaboración de las biopelículas* 114
Tabla 38. *Especificaciones de equipos* 126

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea la elaboración de biopelículas a partir de un proceso de extracción de pectina de material orgánico como lo son la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pula de café (*C. arábica*) como una solución al problema de la contaminación por el plástico convencional.

La naranja es principalmente utilizada para la producción de jugos mayormente, este proceso genera gran cantidad de desechos como cáscaras, pulpa y semillas; en referencia al café, en su proceso de cultivo y recolección se obtienen subproductos como lo son la pulpa, el mucilago y la borra.

La pectina extraída para la elaboración de las biopelículas se obtuvo principalmente de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y de la pulpa café (*C. arábica*) partiendo de una búsqueda de fuentes bibliográficas donde se determinó que estos desechos orgánicos presentan altos contenidos de pectina. A estos desechos se le realizaron dos pruebas fisicoquímicas como lo son: porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas obteniendo como resultados 74,72% y 3,98% respectivamente para la cáscara de naranja y, 73,39% y 7,91% respectivamente para la pulpa de café; frente al 82,08% y 0,091% de humedad y cenizas de la cáscara de naranja y el 85,37% y 9,58% de ambos parámetros para la pulpa de café reportados en literatura.

El proceso de extracción de la pectina se realizó mediante el método de hidrólisis ácida. Para establecer las condiciones óptimas de dicho proceso se llevó a cabo un diseño de experimentos factorial del tipo 3^2 donde las variables para tener en cuenta fueron: pH y temperatura, cada una de ellas con tres valores diferentes, y temperatura de 80 ºC como constante del proceso. Los resultados obtenidos mostraron un rendimiento de 5,16% para la cáscara de naranja y de 1,28% para la pulpa de café con las siguientes condiciones: pH 2,3 y un tiempo de extracción de 20 minutos. Se le realizó una caracterización a la pectina con el fin de analizar algunas propiedades fisicoquímicas: peso equivalente, acidez libre, porcentaje de metoxilo, porcentaje de humedad, grado de esterificación y contenido de ácido galacturónico, consiguiendo valores como 5627,71 $^{mg}/_{mEq}$, 0,18$^{mEq}/_{g}$, 25,19%, 5,66%, 97,82% y 34,84% respectivamente para la

cáscara de naranja y, 10650 $^{mg}/_{mEq}$, 0,10$^{mEq}/_{g}$, 25,18%, 4,63%, 98,84% y 35,03% respectivamente para la pulpa de café.

Finalmente se elaboraron seis biopelículas con la pectina extraída de ambas materias primas, donde se hizo uso de alcohol polivinílico, benzoato de sodio, glicerol y almidón. Tres de estas son realizadas sin almidón (la primera con pectina de cáscara de naranja, la segunda con pectina de pulpa de café y la tercera combinando ambas pectinas), las tres restantes con misma formulación adicionándoles almidón para mejorar sus propiedades mecánicas, evaluando la dureza shore A, resistencia a la tensión y permeabilidad, cuyos resultados fueron: 40,50; 0,44 MPa y 4,0% respectivamente para la biopelícula fabricada con pectina extraída de cáscara de naranja y almidón, la cual fue determinada como la más adecuada para suplir a ciertos materiales poliméricos de origen sintético.

De acuerdo con todos los resultados obtenidos, se evidencia las biopelículas formuladas con pectinas de origen vegetal pueden ser empleadas para reemplazar materiales sintéticos como el neopreno, ya que presentan propiedades mecánicas similares, lo que llevaría a disminuir el impacto ambiental que presenta la producción y posterior desecho de materiales no biodegradables como lo son muchos polímeros similares al nombrado.

Palabras clave: Bioplástico, desechos orgánicos, hidrólisis ácida, polisacáridos, polímeros.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros sintéticos son plásticos resistentes y no biodegradables. Hoy en día, se ha venido presentando un aumento exponencial en la generación de desechos de estos mismos, que desde hace 150 años atrás se ha reconocido como una amenaza ambiental global. Los desechos plásticos presentan un efecto negativo en los seres vivos, generando así un impacto mayor a través de su acumulación indeseable en vertederos, lixiviación en el suelo, aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, entre otros. Los métodos de eliminación de estos desechos actualmente son incineración y reciclaje, pero así mismo estos tienen un alto costo por lo cual no son sostenibles, además de generar un mayor impacto para el medio ambiente [1].

El bioplástico o también conocido como plástico de origen biológico se plantea como una respuesta al problema de la contaminación, estos en su mayor parte proceden de recursos renovables basándose en una alternativa interesante para la industria de los plásticos [2]. Algunos componentes biológicos pueden ser los desechos orgánicos de frutas u otros alimentos como lo son la naranja y el café que gracias a sus propiedades pueden ser de gran uso en la industria del bioplástico.

En la agroindustria la naranja es principalmente utilizada para la producción de jugos, compotas, mermeladas y en otros campos para la obtención de aceites, estos procesos que puede tener la fruta generan grandes cantidades de desechos como cáscaras, pulpa y semillas (entre el 23 y 40 % en peso de la fruta), que a su vez se vuelven una gran carga generando un problema ambiental en la disposición de estos [3].

En referencia al café y según el Comité Departamental de Cafeteros, Colombia logró un nivel de producción alto posicionándose como uno de los productos que reforzó la economía. En su proceso de cultivo, solo se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco en las preparaciones de bebidas, mientras que el 95% restante hace referencia a desechos [4].

Ambos desechos pueden ser empleados para obtener subproductos, con el fin de incrementar su valor agregado con el proceso de agro-industrialización y de la misma forma disminuir el impacto ambiental que estos producen.

Una vez abordadas estas problemáticas ambientales que se generan por el uso de plásticos convencionales y desechos orgánicos como lo son la cáscara de naranja y la pulpa del café se plantea una propuesta de posible solución a estos, mediante la elaboración de biopelículas partiendo de la extracción de pectina (esta es un polímero natural que contiene ácido galacturónico, donde en presencia de agua se gelifica) mediante hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Producir biopelículas a partir de pectinas extraídas de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y pulpa de café (*Arábica*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*Arábica*).
- Obtener pectinas de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*Arábica*).
- Evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas producidas a partir de cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*Arábica*).
- Diseñar una propuesta a escala de planta piloto para el proceso productivo de biopelículas a partir de cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*Arábica*).

1. GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explicarán brevemente distintos conceptos que se encuentran dentro del aprovechamiento de residuos orgánicos, procesos químicos y otros temas considerados relevantes para la investigación, con el propósito de contextualizar y otorgar una idea nítida para el lector.

1.1 Pectinas

Son una familia de polisacáridos las cuales tienen una estructura más compleja que otros polisacáridos; del mismo modo son abundantes en las paredes celulares de las plantas. Estas se encuentran localizadas en la laminilla media de las mismas, brindando a la planta estabilidad y flexibilidad a las paredes celulares [5].

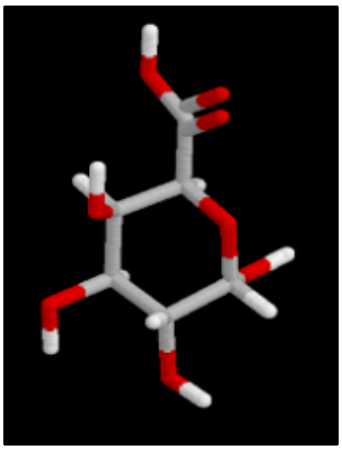
Las fuentes más fundamentales de pectina se encuentran principalmente en la cáscara de los cítricos y en la pulpa de la manzana, sin embargo, también se encuentra presente en otros productos agroindustriales (en menor cantidad) como la cáscara de melocotón, la pulpa de uva y calabaza [6].

Actualmente, en el mercado se extraen con soluciones diluidas de un ácido (clorhídrico o sulfúrico), luego son precipitadas del extracto acuoso mediante etanol para posteriormente someterlo a secado por atomización y realizarles una molienda para ser comercializadas en polvo, o mediante otra serie de procesos, se concentra para ser vendidas como extracto de pectina.

Otra definición de las pectinas (enfocada más hacía su estructura química) es que poseen ácidos pépticos los cuales son solubles en agua y pueden contener grupos carboxílicos del ácido galacturónico de dos tipos: con el grupo carboxilo libre o con el grupo carboxilo parcialmente esterificado con metanol [6]. En ambas estructuras y mediante el proceso de extracción adecuado, las pectinas son idóneas para la formación de geles.

Figura 1.

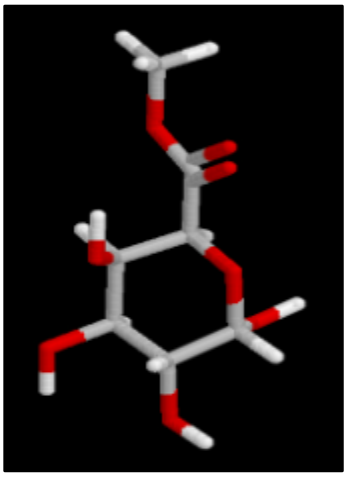
Pectina formada por ácido galacturónico



Nota. La figura representa la pectina formada por acido galacturónico. Tomado de: Calvo, M. Bioquímica de los alimentos: Pectinas. Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html

Figura 2.

Pectina formada por ácido galacturónico metoxilado



Nota. La figura representa la pectina formada por acido galacturónico metoxilado. Tomado de: Calvo, M. Bioquímica de los alimentos: Pectinas. Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html

1.1.1 Tipos de pectinas

El contenido de metoxilo en las pectinas se encuentra alrededor del 8% y el 11%, obteniendo la formación de geles con un contenido aproximadamente del 65% de sólidos solubles, donde se encuentra mayormente azúcar [6].

La esterificación con metanol implica que este se puede perder con gran facilidad a través de métodos como la hidrólisis ácida o enzimática, dejando así, el grupo ácido libre.

Desde el punto de vista de la cantidad de grupos carboxilo esterificados con metanol, se definen dos tipos, estos son:

1.1.1.a. Pectinas de alto metoxilo (HMP). Las pectinas de alto metoxilo son las que presentan más del 50% de un contenido de los grupos carboxilo del ácido galacturónico del polímero esterificado con metanol. Se encargan de la formación de geles con condiciones de pH entre el 2,8 y 3,5 junto con un contenido de sólidos solubles (en su mayoría azúcar) entre el 60% y 70% [6].

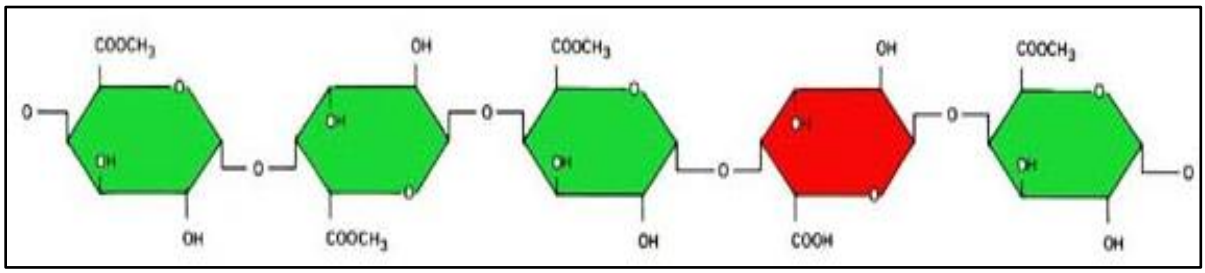
Según la investigación titulada “Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial” [6], una pectina puede llegar a tener aproximadamente 16% en contenido de metoxilo, pero en la práctica se ha logrado determinar que contiene alrededor del 14%, según esto se ha establecido un 7% en contenido de metoxilo como punto medio con el fin de poder diferenciar los tipos de pectina según la base del contenido de metoxilo.

Existen dos grupos de pectinas con alto porcentaje de metoxilo los cuales son:

- Gelificación rápida: Consiste en una gelificación en un tiempo aproximado de cinco minutos o menos, obteniéndose un grado de esterificación con el metanol entre el 68 y el 75% [6].
- Gelificación lenta: Este consiste en una gelificación que se desarrolla en un tiempo superior a cinco minutos, donde se obtiene alrededor del 60 a 68% de esterificación con metanol [6].

Figura 3.

Pectina de alto metoxilo



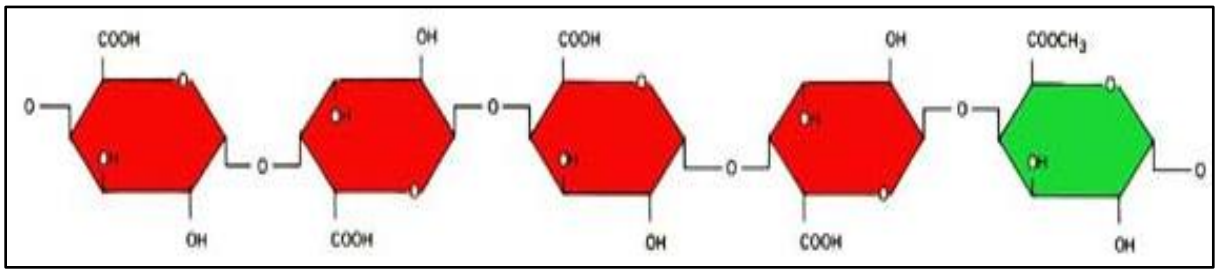
Nota. La figura representa una pectina de alto metoxilo. Tomado de: Calvo, M. Bioquímica de los alimentos: Pectinas. Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html

1.1.1.b. Pectinas de bajo metoxilo (LMP). Las pectinas de bajo metoxilo cuentan con menos del 50% de los grupos hidroxilo que se encuentran esterificados con metanol; para la formación del gel se necesita la presencia de cationes divalentes como el calcio [6].

La obtención del gel se da por la creación de enlaces entre los cationes con moléculas de pectina adyacentes, de esta forma se obtiene una red tridimensional con los grupos carboxilo de la pectina; estos geles se pueden obtener con ciertas condiciones las cuales son: pH entre 1,0 a 7,0 o superior, para este tipo de geles el pH no afecta la textura, sin embargo, la presencia de calcio (40-100 mg) es el factor predominante en la formación del gel, pues si no hay presencia de calcio no se producirá la gelificación [6].

Figura 4.

Pectina de bajo metoxilo



Nota. La figura representa una pectina de bajo metoxilo. Tomado de: Calvo, M. Bioquímica de los alimentos: Pectinas. Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html

1.1.2 Métodos de extracción de pectinas

El proceso de extracción consiste en la separación de un compuesto a partir de una mezcla sólida o líquida, aprovechando así las diferencias de solubilidad de los componentes, para este caso, se definen dos tipos de extracción de la pectina:

1.1.2.a. Hidrólisis enzimática. La hidrólisis enzimática tiene como finalidad la producción de azúcares fermentables (principalmente glucosa) y se caracteriza como una reacción química que es catalizada por una enzima que emplea el agua para así romper una molécula en dos o más fracciones, cuando esta es aplicada a un medio que contiene proteínas, estas se descomponen en cadenas de aminoácidos más pequeñas [8].

Al emplear enzimas, cada una de estas se caracteriza por poseer un rango óptimo de pH y temperatura, es decir, cuentan con selectividad y especificidad, por lo cual se considera necesario conocerlos, así como también el sustrato, para así lograr obtener la eficiencia máxima.

1.1.2.b. Hidrólisis ácida. La hidrólisis ácida es el método más empleado para hidrolizar una muestra de proteína, este puede ser empleado en fase líquida o de vapor. Uno de los ácidos más comunes utilizado para que se pueda dar la reacción de hidrólisis es el ácido clorhídrico (HCl), esto debido a que se evapora con mayor facilidad, además se utiliza para recuperar el hidrolizado en cantidades más pequeñas de solución tampón, las características de este permite que sea empleado en ambas fases líquida o de vapor [9].

- Hidrólisis en fase líquida

La muestra y el ácido clorhídrico se añaden de forma directa al tubo de hidrólisis para que se dé la reacción, se procede a calentar durante el tiempo necesario para que se complete la hidrólisis, esto puede tardar desde horas hasta días, dependiendo de las condiciones que se hayan planteado en el diseño de experimentos, este suele emplearse en muestras más complejas de tratar [9].

- Hidrólisis en fase vapor

En la hidrólisis en fase de vapor, la muestra reacciona con el ácido clorhídrico en la fase de vapor, de igual manera, se agrega la muestra en los tubos de hidrólisis (estos se deben dejar abiertos), el ácido clorhídrico se añade al fondo de un recipiente donde se encuentran los tubos, posterior a esto se cierra herméticamente al vacío y se purga con nitrógeno. Se calienta el tiempo necesario para completar la hidrólisis, esta se da a un ritmo más acelerado que la realizada en fase líquida [9].

Una vez se han expuesto los dos procesos de extracción, se concluye que para la presente investigación el método que se emplea será el de la hidrólisis ácida, esto debido a términos prácticos y eficacia, donde se emplea el ácido clorhídrico para llevar a cabo la precipitación de la pectina.

1.1.3 Propiedades

Se mencionan algunas de las propiedades fisicoquímicas consideradas más relevantes (para la investigación) de la pectina:

1.1.3.a. Peso equivalente. El peso equivalente de la pectina se encuentra relacionado con la longitud de la cadena, es considerada una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación.
La determinación del peso molecular es compleja debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y a la tendencia que poseen las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables a la gelificación.

Los pesos moleculares de las pectinas y su distribución fueron investigados sistemáticamente por viscosimetría y se determinaron que los pesos moleculares varían de 20000 a 300000 g/mol [10].

1.1.3.b. Acidez libre. Las pectinas se encuentran neutras en su estado natural, pero, en solución tienen un comportamiento ácido el cual depende del grado de esterificación.
El pH de las disoluciones de pectina varía entre el 2,8 y 3,4 como función del grado de esterificación. La pectina cuenta con una constante de disociación del 0,1 a $10x10^{-4}$ a una temperatura de 19 ºC [10].

1.1.3.c. Contenido de ácido galacturónico. El ácido galacturónico es un referente el cual permite visualizar el grado de pureza de la sustancia péptica, debido a que este polisacárido se debe encontrar sustituido (en su mayoría) por ácido galacturónico en presencia de otros azúcares [11].
1.1.3.d. Contenido de metoxilo. Se diferencian dos tipos de pectinas según su grado de metoxilación, este es definido como la relación entre los grupos metoxilados y los ácidos libres presentes en la cadena molecular, influenciado propiedades de la pectina como la solubilidad y condiciones de formar un gel.
Se encuentran pectinas de alto y bajo metoxilo, las primeras necesitan grandes cantidades de azúcar y pH bajo para formar el gel, mientras que, las segundas forman geles con o sin azúcar [128].
1.1.3.e. Grado de esterificación. Está relacionado con el contenido de metoxilo de las pectinas, donde la pectina al contener un alto grado de esterificación presentara una

mayor temperatura de gelificación, es decir, una pectina con un grado de esterificación aproximadamente del 75% se gelificará a temperaturas alrededor de 95 °C en un tiempo corto (minutos) empleándolas en la fabricación de gominolas, mientras que si se presenta un grado de esterificación del 65% tardara un tiempo de media hora en volverse un gel [129].

1.1.3.f. Solubilidad. El agua es considerada como el mejor solvente para las pectinas, sin embargo, también es soluble en formamida, dimetil-formamida y glicerina caliente. La pectina se considera insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios y polímeros, estos agentes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones después de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima [10].

1.1.3.g. Poder de gelificación. Para las pectinas de tipo alto metoxilo (HMP), se considera que con un pH alrededor de 3,4 por lo menos un 40% de los ésteres metílicos están desesterificados y por lo tanto será difícil lograr la formación de un gel estable con presencia de concentraciones aproximadas de 65% de azúcares. Un exceso en la concentración del azúcar puede producir cristalización en el almacenamiento.

Por otro lado, en las pectinas de bajo metoxilo (LMP), los geles se consideran menos rígidos y se pueden trabajar con una menor cantidad de sólidos solubles, estos no dependen tanto del pH.

Un gel de pectina se puede considerar como un sistema en el cual el polímero está en una forma entre completamente disuelto y precipitado, donde parte de los segmentos de la cadena molecular están juntos por cristalización limitada para formar una red tridimensional, en donde el agua, azúcar y otros solutos se mantienen estables [10].

1.1.3.h. Humedad. El contenido de humedad afecta de forma directa la estabilidad de la pectina, pues por las características químicas que posee, permite el crecimiento de algunos microorganismos.

Si una pectina se encuentra húmeda puede presentar problemas al momento de la pulverización, pues se adhiere a las superficies, lo que disminuirá su estabilidad y a su vez el tiempo de vida útil se reducirá. Si la pectina se encuentra seca, esta puede resistir a la molienda y presentar un color más oscuro [11].

1.1.3.i. Rotación óptica. Las soluciones de pectina se encuentran ópticamente activas. La rotación específica de las pectinas es de un valor de +230º, sin embargo, se ha encontrado que la pureza aumenta este valor, un ejemplo, es con el pectado de naranja con aproximadamente 95,5% de pureza, se obtiene una rotación óptica de +300º y con el pectado de naranja con un 92,5% de pureza, se obtiene +277º de rotación específica [6].

1.1.3.j. Viscosidad. Las pectinas en presencia de agua forman soluciones viscosas, esta propiedad depende de diferentes factores, como: el grado de polimerización de la pectina, el pH, la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos.

En las pectinas con alto grado de esterificación, la viscosidad aumenta (por efecto de su presencia), al aumentar el peso molecular.

El calcio aumenta la viscosidad de las soluciones de pectina y en algunas pectinas de bajo metoxilo (LMP) se pueden calificar si la concentración de calcio supera un determinado límite [6].

1.1.3.k. Velocidad y tiempo de asentamiento. La velocidad de asentamiento se incrementa al aumentar las concentraciones de azúcar y de ácido.

La temperatura de asentamiento aumenta con todos los factores que elevan el poder de gelificación. Los geles formados con pectinas de bajo contenido de metoxilo tienen una temperatura de asentamiento la cual es independiente de la velocidad de enfriamiento [6].

1.1.3.l. Tiempo y temperatura de cocción**.** Una pectina con un grado de esterificación alrededor de 75% forma geles a los 10 minutos a una temperatura aproximadamente de 85 ºC, mientras que una pectina con una esterificación entre el 60% y 65% tomará 20 minutos en formar geles a una temperatura aproximadamente de 65 ºC.

Cuando se enfría una solución de pectina, la agitación térmica de las moléculas disminuye y así se aumenta la tendencia a formar la red o gel, esta temperatura de gelificación tiene un límite por encima del cual no ocurre la gelificación, pero, por debajo de este límite, las pectinas de bajo metoxilo (LMP) gelifican casi instantáneamente mientras que las de alto metoxilo (HMP) requieren un cierto tiempo para hacerlo [6].

1.1.3.m. Velocidad y fuerza de la agitación. Para la extracción de la pectina, la velocidad de agitación debe ser la adecuada para así garantizar una distribución equitativa de los componentes del medio en interacción, con el fin de evitar la formación de espuma u otros factores, tales como: que el producto se queme por deposición, o que no se logre una exposición adecuada de las superficies del material en extracción, es decir, debe ser rápida y homogénea [6].

1.1.4 Aplicaciones

El mercado mundial de pectina ha duplicado su comercio en los últimos 20 años, con un crecimiento alrededor del 3,5% por año, su aplicación tradicional es como agente gelificante y el químico francés *Louis Nicolas Vauquelin* fue quien inició estos estudios [5].

Han aparecido nuevas oportunidades y aplicaciones, donde cada vez es más empleada en el sector agroalimentario, farmacéutico y de innovación (como la presente investigación).

1.2 Naranja (*C. sinensis*)

En Colombia, la producción de cítricos se concentra en tres principales núcleos productivos:

- Costa Atlántica: Atlántico, Magdalena, Cesar, Bolívar.
- Nororiente: Santander, Norte de Santander, Boyacá
- Centro: Cundinamarca, Tolima, Huila

El país posee cerca de 97000 hectáreas cultivadas en cítricos, de las cuales, según cifras convenidas en las principales plazas mayoristas del país, aproximadamente el 47% de la producción corresponde a naranjas, el 27% a mandarinas y el 26% a limas ácidas. En Cundinamarca se reportaron 9092 ha sembradas en cítricos, consiguiendo una participación del 10% de la producción nacional. La naranja representa cerca del 50% de esa producción [12].

El naranjo (*C. sinensis*), es una planta perenne de porte recto con un tamaño medio que puede alcanzar una altura de seis a diez metros, de madera dura y corteza fina con un color verde a gris marrón [13].

Son considerados frutos del invierno, una naranja promedio de 5,5 cm de diagonal, contiene: 3,5 g de fibra, 11% de la ingesta diaria recomendada de vitamina B1 y ácido fólico y el 107% de la ingesta diaria recomendada de vitamina C. Las naranjas se pueden emplear de muchas maneras y casi todas las partes de ella, incluida la cáscara, se pueden usar, pero la mayoría de las veces se consumen sin cáscara, frescos o en forma de jugo [14].

Las temperaturas óptimas para el crecimiento del naranjo (*C. sinensis*) se ubican entre los 18 y los 30 °C, y se eligen para climas medios las variedades tempranas en las regiones subtropicales, y las variedades tardías en las regiones cálidas [13].

Figura 5.

Naranja tipo Citrus sinensis

Nota. La figura representa la naranja del tipo citrus sinensis. Tomado de: Naranja Citrus Sinensis. ProColombia. Available: https://b2bmarketplace.procolombia.co/es/agricola/naranja-citrus-sinensis.-17787

1.2.1 Cáscara de naranja (C. sinensis)

La cáscara de naranja es un residuo agroindustrial proveniente principalmente por la industria juguera generando entre 50–60 % de la cáscara, que por sus características ocasionan diversos problemas ambientales como la contaminación de suelo, ya que tiene un tiempo de degradación alto que puede llegar a ser de 6 meses aproximadamente. Para mitigar esta problemática, se han realizado diversas investigaciones para dar valor agregado a este residuo agroindustrial [16].

Contiene celulosa, pectina, hemicelulosa, azúcares solubles, lignina, almidón, cenizas y otros compuestos, cuenta también con grupos funcionales activos como los carboxilos de las pectinas y los hidroxilos de la celulosa [17].

1.2.1.a. Composición química. En la tabla 1 se presentan los valores más importantes acerca de la composición de la cáscara de naranja [18]:

Tabla 1.

Composición química de la cáscara de naranja (C. sinensis)

COMPONENTE	%p/p
Proteína	6,17
Fibra cruda	10,89
Cenizas	1,29
Grasa	1,55
Lignina	3,2
Pectina	17
Azúcares neutros	3,8
Ácido Urónico	7,1
Carbohidratos	89

Nota. La anterior tabla representa la composición química de la cáscara de naranja. (*C. sinensis*). Tomado de: Ceron-Salazar,I. and C. Cardona-Alzate, (Jan 1,2011)."Evaluacion del proceso integral para la obtencion de aceite esencial y pectina a partir de cascara de naranja." Ingeniería Y Ciencia (Medellín, Colombia). Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&tlng=en

1.2.1.b. Propiedades. La cáscara de naranja tiene un alto contenido de materia orgánica (aproximadamente el 95 % de sólidos totales), agua (aproximadamente 80–90 %) y un pH entre 3 y 4 [16].

Las mediciones que proporcionan más información referente al estado de madurez de la naranja son el contenido de sólidos solubles totales (SST) compuestos principalmente por azúcares, y la acidez titulable (AT). El contenido de azúcares en la maduración de la naranja puede variar entre 7 y 12 %. El contenido de ácido también varía a medida que transcurre la maduración del fruto, disminuyendo de un 1,2 a un 0,7 %. El contenido de humedad de la cáscara de naranja es aproximadamente del 12,5 % [19].

1.3 Café (*C. Arábica*)

El café de tipo arábica es un tipo de variedad cultivada para la obtención de café, abarcando cerca del 70% de la producción mundial, es de sabor equilibrado, suave y muy aromático. Cuenta con un perfil de sabor que varía entre el achocolatado, floral, caramelo, afrutado y acidez brillante [20].

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, para el año 2019, la producción de café llegó a los 14,8 millones de sacos, en los últimos 10 años se ha incrementado el rendimiento, mejorando así la edad promedio de los cultivos y su resistencia a la roya [21].

Este tipo de café es considerado como el mejor café en grano, ya que, aunque tiene menos cuerpo que otros tipos de café, es más equilibrado y posee una acidez muy agradable, además, cuenta con menos cafeína que otras variedades. Logra crecer entre los 500 y los 2400 metros de altura, en zonas húmedas y de clima cálido [20].

Figura 6.

Café tipo Arábica

Nota. La figura representa el café del tipo Arábica. Tomado de: Café arábica. Available: https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/mejor-con-cafe-arabica

1.3.1 Pulpa de café (C. Arábica)

La pulpa del café representa aproximadamente el 42% en peso del fruto fresco, es por lo tanto el subproducto más abundante. Cada dos toneladas de café producen aproximadamente una tonelada de pulpa, por lo que es importante minimizar sus riesgos e impacto ambiental derivados de su mal manejo. El tratamiento de la pulpa debe llevarse a cabo de forma inmediata, para evitar serios problemas de contaminación en ríos y suelos ubicados cerca de las instalaciones de procesamiento de café [22].

Los residuos del café poseen componentes de alto valor en la industria, entre ellos se destaca la pulpa de café, la cual en promedio contiene aproximadamente el 11% de proteína, sin embargo, el 40% corresponde a proteína lignificada, la cual no es aprovechada por los animales. Este residuo de pulpa de café contiene sustancias químicas que de una u otra manera pueden ser perjudiciales para la alimentación animal, entre los más conocidos se encuentran los ácidos clorogénicos, taninos y cafeína [23].

1.3.1.a. Composición química. En la tabla 2 se presentan los valores más importantes acerca de la composición de la pulpa de café [24]:

Tabla 2.

Composición química de la pulpa de café (Arábica)

COMPONENTE	%p/p
Materia seca	29
Proteína	10
Fibra cruda	21
Cenizas	8
Extracto libre de Nitrógeno	44
Taninos	1,8
Pectina	6,5
Azúcares reductores	12,4
Azúcares no reductores	2
Cafeína	1,3
Ácido Clorogénico	2,6
Celulosa	27,7

Nota. La anterior tabla representa la composición química de la pulpa de café. (*C. arábica*). Tomado de: Composición química del fruto de café - CAFÉ ARÁBIGO. Available: https://1library.co/article/composici%C3%B3n-qu%C3%ADmica-del-fruto-de-caf%C3%A9-caf%C3%A9-ar%C3%A1bigo.yev0981z

1.3.1.b. Propiedades. El arábica tiene entre un 0,8% y un 1,4% de cafeína. La pulpa de café, como fuente de materia orgánica, mejora las condiciones físicas y químicas de los suelos con texturas pesadas y arenosas. También logra incrementar el contenido de la mayoría de los nutrientes esenciales.

Es un subproducto ácido, ya que presenta pH con valores por debajo de 5, lo que puede ocasionar problemas de toxicidad por aluminio en los suelos donde se deposita. Posee alrededor del 85% en contenido de humedad [22].

1.4 Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son todos los elementos que son desechos o residuos de origen animal y/o vegetal. Estos residuos tienen la capacidad de degradarse biológicamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica [25].

1.4.1 ¿Cómo se generan?

Estos pueden ser de origen industrial, comercial o doméstico, estos residuos son los que más se generan y los que se gestionan de poca forma, están principalmente dispuestos en rellenos sanitarios. Esto tiene un gran impacto hacia el medio ambiente como lo son la formación de gases de efecto invernadero y la producción de lixiviados [25].

1.4.2 Composición

La fracción orgánica está compuesta principalmente por peladuras de frutas y verduras, sobras de comida, desperdicios de pescado, huesos y restos de carne, servilletas o manteles de papel con restos de materia orgánica, restos de café, huesos de animales, restos de poda pequeña, tapones de corcho natural, palillos, cáscaras y bolsitas de infusiones [26].

1.4.3 Impacto ambiental

Los residuos orgánicos tienen un fuerte impacto medioambiental, ya que pueden contaminar la atmósfera, el suelo y las aguas, esto debido a su alto contenido en materia orgánica inestable e inmadura, así como también a elementos minerales, compuestos orgánicos recalcitrantes, metales pesados, fitotoxinas, patógenos vegetales y animales, entre otros, los cuales son altamente contaminantes [25].

1.5 Biopelículas

Las biopelículas son un tipo de películas flexibles formadas por macromoléculas biológicas las cuales pueden llegar a ser capaces de formar una matriz [27], estas también pueden ser elaboradas empleando a la pectina como materia prima, debido a

que es un componente presente en la gran mayoría de frutas cítricas, encontrándose en gran cantidad en los desechos agroindustriales.

En su mayoría se encuentran formadas por residuos de ácido poligalacturónico interrumpido con enlaces cortos de ramnosa, siendo altamente solubles en agua y al presentar gran flexibilidad molecular, permiten una amplia deformación en las mismas, presentando propiedades similares a las de algunos polímeros sintéticos, por tal motivo, se obtiene que las películas que se elaboren a partir de pectina obtendrán buenas propiedades mecánicas y físicas [28].

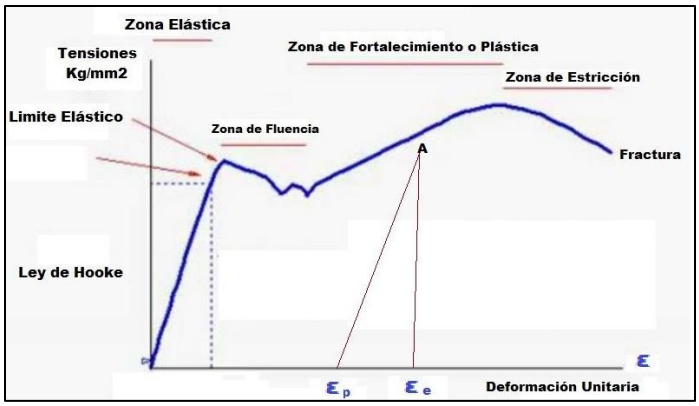
Una biopelícula consiste en una capa fina de un material biodegradable que puede emplearse en diferentes campos productivos como en la rama alimenticia, estos se encargan de controlar la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono y aromas que provengan del medio exterior, por otro lado, incluyen en el sistema alimentario ingredientes como antioxidantes, antimicrobianos y sabores, proporcionando una mejora en la integridad mecánica y de manipulación de estos [11].

1.5.1 Propiedades

1.5.1.a. Resistencia a la tensión. El ensayo de tensión determina la resistencia de un plástico para resistir la acción de las fuerzas externas sin romperse. El objetivo de esta prueba/ensayo es determinar la resistencia a la rotura y las principales propiedades mecánicas del material que es posible apreciar en un diagrama esfuerzo-deformación (Ver figura 7): límite elástico, punto de fluencia, límite de fluencia, resistencia a la fatiga, punto de fractura, entre otros [29].

Figura 7.

Diagrama esfuerzo vs deformación



Nota. Diagrama ejemplo esfuerzo-deformación para el ensayo de tensión. Tomado de: ensayo de tracción. Available: https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html.

1.5.1.b. Dureza shore. Es una escala que mide la dureza elástica de los materiales a partir de la reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un objeto, esta se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. La escala más conveniente para medir los materiales elastómeros termoplásticos (o plásticos más blandos) es la escala Shore A. Para medir los más duros se utiliza la escala D, cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza [31].

Esta medición permite establecer distintas especificaciones como la resistencia al rayado, desgaste y abrasión de un material. La dureza Shore mide la resistencia de un objeto a la penetración de una aguja sometida a una fuerza de resorte definida [11].

1.5.1.c. Solubilidad. La solubilidad está relacionada con la permeabilidad al vapor de agua y condiciona la aplicación de las biopelículas, así mismo es una propiedad física importante para determinar si la película se descompone con facilidad, a mayor solubilidad la película resiste menos al agua, es decir que son más susceptibles a degradación [11].

1.5.1.d. Permeabilidad. Es la propiedad que tienen las películas plásticas (biopelículas), de permitir el paso de fluidos, ya sean gases, vapores o líquidos a través de su estructura

molecular, es considerado como un proceso de difusión, es decir, el gas, vapor o líquido se disuelve en el material de la membrana y de allí se desplaza a lugares de menor concentración [32].

1.5.1.e. Prueba de desgaste. Las pruebas de desgaste realizadas con este método de prueba muestran que el coeficiente de fricción depende de la temperatura (generada debido a la fricción), especialmente para los plásticos rellenos. Las pruebas con alta carga y/o velocidad dan como resultado el derretimiento del plástico debido a la acumulación excesiva de temperatura [33].

1.5.1.f. Biodegradabilidad. Es la capacidad que tiene un material de descomponerse con el tiempo, por bacterias u otros procesos naturales, y volver a sus elementos naturales, este proceso de degradación conlleva tiempo y puede realizarse mediante pruebas como DQO y DBO. Se debe tener en cuenta que lo que se biodegrada no necesariamente se convierte en compost [34].

1.6 Neopreno

El neopreno es un polímero derivado del cloropreno, también es conocido como policloropreno, el cual hace parte de la familia de los cauchos sintéticos considerándose el más elástico, es producido mediante la polimerización, caracterizado con una óptima estabilidad química y una alta resistencia dentro de un gran rango de temperaturas. Es llamado en muchas ocasiones como el material de la primera goma sintética producida a nivel industrial, además de ser un recurso importante para la industria relacionada con las bandas de caucho. [35]

Figura 8.

Representación del neopreno

Nota. La anterior figura representa un ejemplo de aplicación el neopreno. Tomado de: "Conoce más del Neopreno y sus aplicaciones en la industria," 2019. Available: https://www.cauchosmalaca.com/neopreno-y-aplicaciones/.

1.6.1 Propiedades y aplicaciones

El neopreno se considera como un “material inteligente” teniendo variedad de formas y aplicaciones para su implementación, debido a sus propiedades elásticas y térmicas entre otras como lo son resistencia a la degradación del sol, resistencia a daños ocasionados por la flexión e impactos, además de ser hipoalergénico, por lo cual es seguro y no tóxico. [37], algunas de sus aplicaciones pueden ser: [35]

- Equipos de protección industrial
- Fabricación de trajes para bucear
- Base para adhesivos
- Bandas para ventiladores de automóviles
- Aislamientos eléctricos
- Bandas transportadoras
- Mangueras domesticas

- Estructuras y partes internas de autos
- Relleno en cajas metálicas para proteger el contenido

1.6.2 Producción

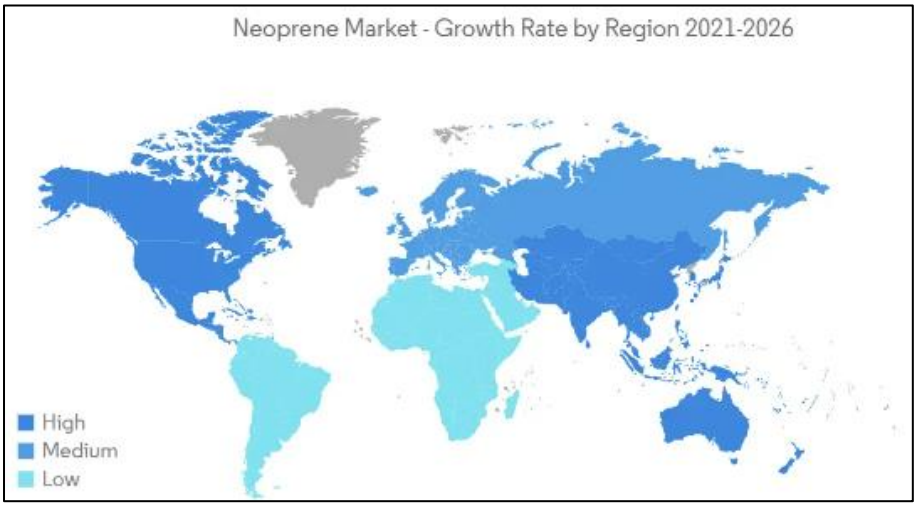
El neopreno es mayormente fabricado mediante la reacción de polimerización por emulsión en reactores tipo batch, para luego ser aislado mediante procesos de secado en frío, a continuación, se mencionan los pasos para su elaboración: [38]

- Emulsificación
- Iniciación y catálisis
- Transferencia de calor
- Conversión del polímero
- Recuperación del polímero
- Aislamiento del polímero

Se encuentran dos principales industrias de producción de neopreno las cuales son la primera, *Neopreno industrial*: este se emplea en la fabricación de ruedas de automóvil, juntas de coches, entre otros y la segunda, *Neopreno celular*: hace referencia a los trajes de buceo [37], se presenta en la figura No.9 la producción a nivel mundial del neopreno.

Figura 9.

Producción a nivel mundial del neopreno.



Nota. La anterior figura representa los productores de neopreno a nivel mundial con sus respectivas convenciones. *Tamaño del mercado de neopreno, participación, crecimiento | Tendencias de la industria (2022 - 27)*. Available: https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/neoprene-market.

1.6.3 Impacto ambiental

La producción de neopreno es altamente contaminante, ya que emite amplia gama de gases de efecto invernadero como lo es el dióxido de carbono, además de generar una gran proporción de residuos tóxicos los cuales afectan la salud humana y el medio ambiente a corto plazo [39]. Un ejemplo es la industria del “fast fashion” la que involucra principalmente los trajes de neopreno para surfear, y otras prendas como los guantes de protección industrial, consumiendo gran cantidad de agua y energía en su elaboración, y una vez finalizada su vida útil terminan contaminando ecosistemas como el desierto de Atacama.

2. METODOLOGÍA

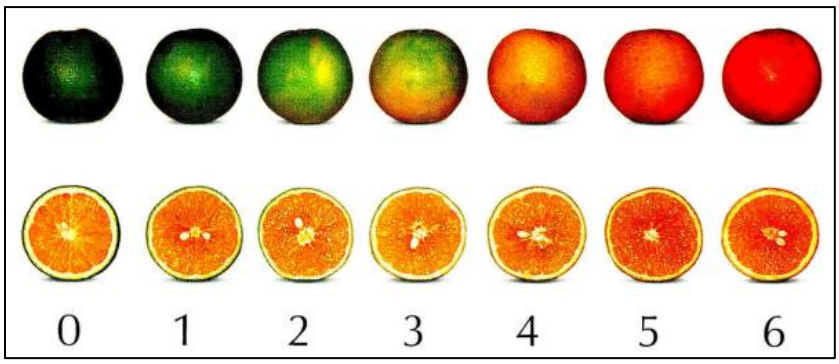
2.1 Caracterización de las materias primas

La información que se presenta en este apartado hace referencia a la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (C. *arábica*) tanto teóricamente como experimentalmente, partiendo de esta última se medirán propiedades como lo son porcentaje de humedad y cenizas.

La cáscara de naranja presenta una fase de maduración durante su ciclo biológico, la cual implica una modificación de color, aumento de la concentración de azúcares (reduciendo su acidez), aumento de peso y modificación de su textura. La coloración de la corteza depende de las bajas temperaturas ambientales durante el periodo de maduración del fruto, se presenta una coloración elevada en descensos de temperatura por debajo de los 12,8°C [112]. La cáscara de naranja empleada tanto para la caracterización de la materia prima como para la extracción de la pectina presento un estado de maduración y coloración de tipo 4 (ver figura No.10), presentando un contenido de azúcar y coloración altos.

Figura 10.

Estados de maduración de la naranja

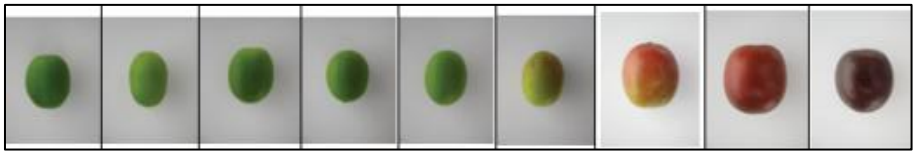


Nota. La anterior figura representa los diferentes estados de maduración de la naranja según su coloración. Tomado de: Aristizábal, G. "Caracterización de frutas y hortalizas en Colombia". Available: https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/9/C%C3%ADtricos.pdf

El grado de maduración del café es un factor que presenta gran influencia en el rendimiento de cereza a seco y en la calidad del producto final, este se basa generalmente según el color de la cereza, la cual durante el proceso de maduración va a presenciar tonalidades amarillas y rojas, mientras que los frutos sobremadurados o secos presentan perdidas de mucilago y dificultades en el despulpado, además de contemplar ataques por microorganismos e insectos. La pulpa de café empleada para la caracterización y la obtención de las pectinas fue recogida alrededor de los 210 a 224 días después de la floración pues es donde se presentaba mayor cantidad de semillas sanas y a su vez, menor cantidad de impurezas y defectos, lo cual disminuye considerablemente la fuerza requerida para el despulpado evitando daños en esta y en la almendra [113].

Figura 11.

Estados de maduración para la pulpa de café



Nota. La anterior figura representa los diferentes estados de maduración para la pulpa de café. Tomado de: Carvajal, J. *et al*. (2011). "Colorimetría del fruto de café *(Coffea arábica L.)* durante su desarrollo y maduración". Revista Agronómica Universidad Nacional.

El contenido de humedad puede afectar directamente la capacidad de procesamiento, el período de conservación, la usabilidad y a la calidad de la muestra y/o producto que se requiera. Por esta razón la determinación precisa del porcentaje de humedad desempeña un papel importante para asegurar la calidad en muchas industrias [40].

El porcentaje de humedad en ambas materias orgánicas se determinó por medio de un método gravimétrico el cual se explica en el artículo "Prueba de cenizas y humedad en naranja valenciana" [108], donde el contenido en agua o humedad presente en la muestra tanto de la cáscara de naranja como la de la pulpa de café se calculó por diferencia de peso y se expresó en porcentaje (%).

Inicialmente se lavaron los crisoles a utilizar para posteriormente llevar al horno y dejar secar durante una hora a temperatura de 100 °C, culminado este tiempo se llevaron los crisoles al desecador con el fin de que no adquirieran humedad y realizar la prueba de forma más precisa. Para iniciar esta prueba se pesaron los crisoles acondicionados anteriormente, luego se adicionaron 5,0 g de cada materia prima orgánica en cada uno de ellos para nuevamente pesarlos; se llevaron al horno a temperatura de 110 °C durante tres horas, transcurrido este tiempo nuevamente se llevaron al desecador durante una hora para poder llevar a peso constante, este procedimiento se realizó por triplicado con el fin de obtener valores más exactos evitando posibles errores humanos.

La determinación de cenizas es una prueba de análisis imprescindible en los estudios de calidad y caracterización en la industria alimenticia, las cenizas hacen referencia a los residuos no volátiles que se obtienen al incinerar un alimento/residuo, están compuestas por óxidos metálicos y contenido mineral. Se puede determinar por tres métodos: seco, húmedo y plasma a bajas temperaturas [41], basado en esto se decidió utilizar la metodología descrita en el artículo “Prueba de cenizas y humedad en naranja valenciana” [108].

El contenido de cenizas en los alimentos puede variar, sin embargo, se tiene un rango donde en carnes debe oscilar entre 0,8 y 2 %, y por parte de las frutas/hortalizas se debe encontrar entre 2 y 12 % [42].

Para continuar con la prueba de cenizas, el inicio de esta es la finalización de la prueba de humedad, es decir, al obtener las muestras secas a peso constante son llevadas a una mufla que estará a una temperatura de 600 °C, donde se dejaran por un periodo de tres horas, pasado este tiempo se llevaran al desecador para evitar que adquieran humedad durante una hora; finalmente se vuelven a llevar a la balanza analítica hasta peso constante. Esta prueba al igual que la anterior fue realizada por triplicado.

2.2 Obtención de la pectina

En este capítulo se describe el proceso realizado para la extracción de la pectina de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) la cual fue recolectada de un puesto de venta de jugos naturales en la localidad de Suba y la pulpa de café (*C. arábica*) recolectada en una finca cafetera ubicada en el municipio de San Antonio del Tequendama.

De la misma forma se especifican las pruebas y como se desarrollaron para la caracterización de las pectinas obtenidas durante el proceso de hidrólisis (este proceso se puede llevar mediante hidrólisis ácida o enzimática, la mayor diferencia parte en que la primera es un proceso químico mientras que la segunda es un proceso bioquímico.

La hidrolisis acida se emplea en conversiones químicas como celulosa a glucosa, mientras que la hidrolisis enzimática se encarga de la digestión de los alimentos proporcionando energía renovable [114], esta última presenta un proceso costoso, requiere una alta selectividad y especificidad de las enzimas lo que la hace menos sostenible para la extracción de las pectinas, por estas razones se seleccionó el proceso de extracción de las pectinas por medio de la hidrólisis ácida; finalmente, se realiza la explicación de la fabricación de las diferentes biopelículas.

2.2.1 Obtención y preparación de la materia prima

Una vez recolectada la cáscara de naranja en la localidad de Suba, se realizó una disminución de su tamaño mediante cortes (trituración a nivel planta piloto) donde esta hace referencia en una disminución de tamaño de las partículas con diámetros superiores a una pulgada (2,4cm) [115], esta separación genera una distribución mayoritaria de tamaño, con el fin de aumentar su área superficial, para poder tener una mejor manipulación durante todo el proceso y lograr obtener mayor cantidad de pectina; por su parte, la pulpa de café se recogió en la inspección de Santandercito en el municipio de San Antonio del Tequendama (esta se consiguió con un área superficial adecuada sin necesidad de realizar cortes).

Una vez obtenidas las materias primas y acondicionadas se realizó un lavado con el fin de limpiar impurezas y/o microorganismos, posterior a esto se llevó a refrigeración para conservar la cadena de frío y evitar la putrefacción de estas.

2.2.2 Extracción química

Este proceso se desarrolló mediante hidrólisis ácida, donde las condiciones de extracción de la pectina son fundamentales para la obtención óptima de esta, ya que con las correctas condiciones se puede obtener gran cantidad de pectina con mínimas variaciones en su estructura. el estado de maduración de la materia prima influye directamente en la extracción de la pectina ya que en un grado de maduración avanzado

logra obtenerse mayor cantidad de pectina y de esta forma se le podría añadir mayor cantidad a la biopelícula. Se realizó una consulta bibliográfica, donde se determinó que las variables que más repercuten al momento de obtener la pectina son el pH, tiempo de extracción y temperatura, por tal motivo se llevó a cabo un diseño de experimentos factorial del tipo 3^2 el cual se presenta en la figura No.12.

La tabla No.3 presenta la información bibliográfica acerca de la extracción de pectinas, por diferentes autores donde se describe las variables que repercuten de manera significativa en dicho proceso.

Tabla 3.

Variables que repercuten de manera significativa en el proceso de extracción de la pectina.

Titulo	***Autores***	***Año de publicación***	***Resumen***	***Variables que repercuten***
Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana	E. Alata, Y. Cuadros, L. Miranda y E. Medina [28]	2019	Se estudiaron biopelículas a partir de la cáscara de naranja para obtener su aceite esencial mediante el proceso de extracción por arrastre de vapor con celulosa bacteriana para incrementar la resistencia de estas.	pH y temperatura
Producción de una biopelícula a partir de las pectinas del mucílago de café	M. Guerra y D. Rueda [43]	2021	Se propuso la aplicación de un residuo agroindustrial (mucílago de café) para la producción de biopelículas, mediante un diseño experimental donde se evalúa la pectina cítrica, compuesta y de mucílago, esta última extraída mediante el proceso de hidrólisis ácida.	pH, temperatura de residencia y tiempo de agitación.

Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (Citrus sinensis): Caracterización física, química y estructural	M. Ramos, M. Cadenas, G. Bolio, G. Leo, A. Maciel, C. Castañeda y J. Ramos [44]	2020	Se desarrolló la extracción de pectina mediante hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (citrus x sinensis), utilizando ácido cítrico al 0,1% y como agente plastificante glicerol a diferentes concentraciones, con el objetivo de establecer la resistencia y rigidez óptima para las biopelículas.	Temperatura y tiempo de extracción
Biofilms Composed of Alginate and Pectin: Effect of Concentration of Crosslinker and Plasticizer Agents	F. Seixas, F. Turbiani, P. Salomão, R. Souza, y M. Gimenes [45]	2013	Se elaboraron biopelículas preparadas a partir de materiales biológicos con alto contenido de pectina y alginato, mediante la técnica de “casting”, estas biopelículas al ser ricas en pectina se mostraron solubles en agua además de tener propiedades mecánicas aceptables.	Temperatura y tiempo de extracción
Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica	K. Orozco y S. Villa [11]	2021	Se realizó un proceso de extracción de la pectina de la pulpa de café arábica con el fin de obtener una biopelícula, llevando a cabo un diseño de experimento factorial, obteniendo una biopelícula a la cual se le realizaron diferentes pruebas mecánicas.	pH, temperatura de residencia y tiempo de agitación.

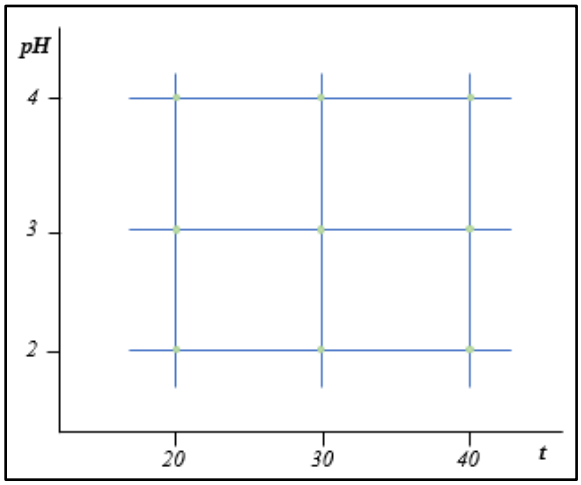
Nota. La anterior tabla representa la bibliografía consultada para la selección de las variables influyentes en el proceso de extracción de la pectina.

Seguido a esta búsqueda se planteó el diseño de experimentos factorial del tipo 3^2 donde se presentan dos variables manipuladas las cuales son pH y tiempo de extracción,

manteniendo constante la temperatura, esto debido a que esta última es una variable de control regular, cabe resaltar que este diseño de experimentos se realizó por duplicado con el fin de evitar posibles errores humanos y obtener mayor precisión en los resultados.

Figura 12.

Arreglo factorial para el diseño de experimentos a realizar en la hidrólisis ácida



Nota. La figura representa el diseño de experimentos planteado para la extracción mediante hidrólisis acida.

El procedimiento de la extracción de la pectina (para ambas materias primas) comienza preparando una disolución de ácido clorhídrico en recipientes con capacidad de 3 litros, donde se realizó uso del potenciómetro con el fin de lograr obtener los pH establecidos en el diseño de experimentos anteriormente planteado. Se emplearon 6 balones de destilación en los cuales se les agregó 100 gramos de materia prima y 150 mililitros de la disolución de ácido clorhídrico, posterior a esto se realizó el montaje dando inicio al primer tiempo de destilación.

El ácido clorhídrico es un químico con alto grado de corrosión por lo tanto puede ocasionar daños inmediatos en los tejidos (considerándose graves) como quemaduras, adicional es tóxico para plantas (produciéndoles quemaduras en sus hojas) y presenta efectos considerables en las proximidades de los desagües o fuentes locales [118]. Con

el fin de garantizar un apropiado manejo se debe hacer uso del equipo de protección personal al manipular este químico, evitando el contacto directo con la piel y ojos, además de contar con una campana extractora de vapores; con el propósito de evitar contaminación se requiere agregar abundante agua para diluir nuevamente la disolución ácida a desechar, esto para poder vestirse en el drenaje de forma más segura. [119]

Figura 13.

Montaje de hidrólisis ácida para la cáscara de naranja (C. sinensis)

Nota. La figura representa el Montaje de hidrólisis ácida para la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

Figura 14.

Montaje de hidrólisis ácida para la pulpa de café (C. arábica)

Nota. La figura representa el Montaje de hidrólisis ácida para la pulpa de café (*C. arábica*).

Este proceso se repitió para cada pH y su respectivo tiempo planteado sumándole una repetición anteriormente mencionada, con el fin de determinar las condiciones apropiadas al mayor rendimiento (ver tabla No. 16).

Mediante un análisis y toma de decisiones se logró determinar que la forma de extracción más conveniente para el desarrollo del proyecto en la extracción de las pectinas fue el de hacer uso de beaker de 2000 mL donde se llevó a cabo la comparación de la obtención en gramos de pectina, pues con los balones de destilación la recolección era poca y conllevaba demasiado tiempo.

Los resultados obtenidos en las tabla No.17 demuestran que tanto para la cascara de naranja y la pulpa de café, con el uso de un solo beaker de 2000 mL se pudo obtener mayor cantidad de pectina a comparación de la obtención con seis balones de destilación, por tal motivo, se toma la decisión de hacer uso de beaker de 2000 mL para la continua extracción de pectina en lo que resta del proyecto; para la extracción de pectina de cascara de naranja se adicionaron alrededor de 600 g de materia prima y 800 mL de la disolución ácida, mientras que para la pectina extraída de la pulpa de café se adicionaron alrededor de 430 g de materia prima y 1000 mL de la disolución ácida.

Figura 15.

Extracción de pectina en beaker de 2000 mL.

Nota. La figura representa la extracción de la pectina para ambas materias primas haciendo uso de beaker de 2000 mL.

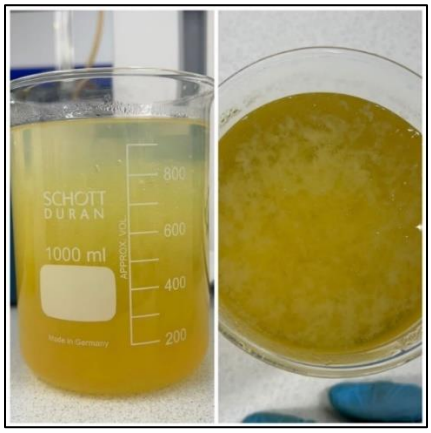
2.2.3 Precipitación de la pectina

Una vez se llega a la temperatura (80 °C) y culmina el tiempo de la hidrólisis (20 min) se deja enfriar para su posterior filtración, el líquido filtrado es el principal objetivo para este apartado. A este líquido, se le adicionó el doble o un poco más de etanol sobre la cantidad obtenida de la solución ácida, observado de forma inmediata la precitación de la pectina, sin embargo, esta se dejaba en reposo alrededor de 24 a 48 horas con el fin de que se precipitara en su totalidad y a su vez se sedimentara para facilitar su recolección.

La inhalación de altas concentraciones del vapor de etanol puede causar molestias respiratorias e irritación de ojos, una correcta manipulación es mediante el uso apropiado de equipos de protección personal, procurando mantener higiene y evitando la formación de polvo de este compuesto [120]. Este compuesto no presenta daños al medio ambiente, por tal motivo puede desecharse por el desagüe evitando la manipulación cercana a una fuente de ignición [121].

Figura 16.

Precipitación de la pectina de cáscara de naranja.



Nota. La figura representa la precipitación de la pectina de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) después de la adición de etanol.

Figura 17.

Precipitación de la pectina de pulpa de café.

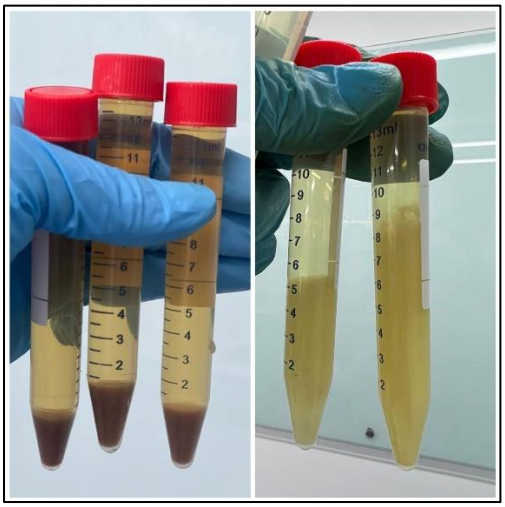
Nota. La figura representa la precipitación de la pectina de la pulpa de Café (*C. arábica*) después de la adición de etanol.

2.2.4 Recolección de la pectina

Una vez sedimentada la pectina se procedió a filtrarla para la recolección de etanol, en caso tal de que la sedimentación no fuera total se llevó a cabo una centrifugación con ayuda de la centrífuga a 3200 rpm durante un tiempo de 10 min.

Figura 18.

Pectinas centrifugadas.



Nota. La figura representa la pectina obtenida y centrifugada de ambas materias primas.

La recolección de la pectina se realizó en platos de cristalización, los cuales se secaron de dos formas, la primara llevando el horno a una temperatura de 80 °C a revisión constante para evitar que se quemaran, posterior a su secado en el horno fueron llevadas al desecador para finalmente realizarles un raspado del plato de cristalización, y la segunda forma fue dejando a temperatura ambiente permitiendo que tomara la luz solar evaporándose el etanol restante en ella.

De ambas formas se fueron almacenando las pectinas para el posterior uso en la elaboración de las biopelículas.

Figura 19.

Secado de pectinas.

Nota. La figura representa las dos formas de secado aplicadas a la pectina recolectada.

Partiendo de la austeridad en el uso de reactivos, se recolectó etanol posterior a la precipitación y centrifugación de las pectinas con el fin de recuperarlo mediante ayuda del equipo rotaevaporador; obteniendo una pureza que oscila entre 60 y 80% de etanol, el cual es reutilizado con el mismo fin de precipitar las pectinas.

Figura 20.

Recuperación de etanol.

Nota. La figura representa la recuperación del etanol en el equipo rotaevaporador.

2.3 Caracterización de las pectinas

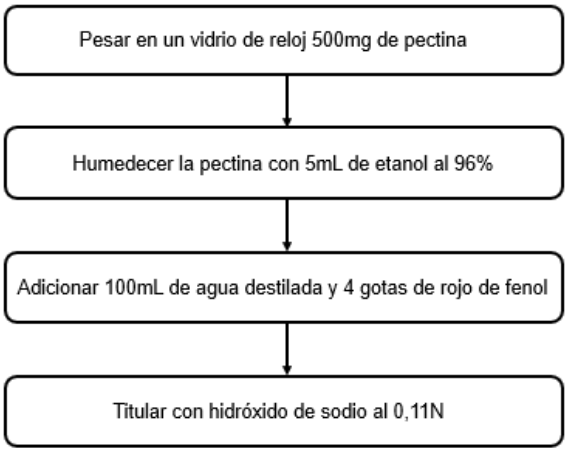
La información que se presentará corresponde a la caracterización fisicoquímica de las pectinas recolectadas en el capítulo anterior con el propósito de saber las diferencias y propiedades entre unas y otras, bien sea pectina extraída de la cáscara de naranja o de la pulpa de café. Las diferentes pruebas por realizar se mencionan a continuación junto con su procedimiento mediante diagramas de flujo (cabe resaltar que se hará una extensión sobre cada uno de estos y sus resultados en el capítulo 3):

- Peso equivalente y acidez libre

El peso equivalente se determina siguiendo la técnica de Owens, la cual consiste en pesar en un vidrio de reloj una pequeña muestra de pectina (alrededor de 500 mg), adicionarla a un Erlenmeyer de 250 Ml con ayuda de una cantidad mínima (alrededor de 5 Ml) de etanol del 96% de pureza para humedecerla. Luego, se adicionan 100 Ml de agua destilada fría junto con 4 gotas de rojo de fenol como indicador, para finalizar con una titulación con NaOH al 0,11 N [46].

Figura 21.

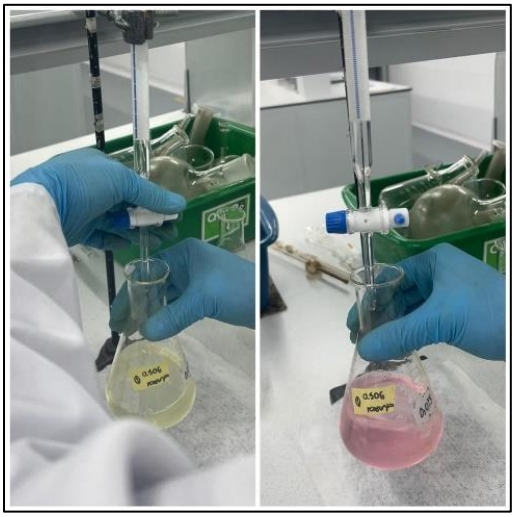
Determinación del peso equivalente y acidez libre.



Nota. Representa el diagrama de bloques del procedimiento para el peso equivalente y acidez libre de las pectinas de ambas materias primas.

Figura 22.

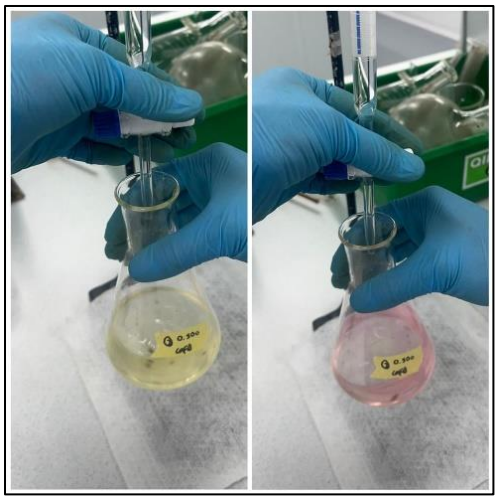
Titulación de la pectina extraída de la cáscara de naranja para la determinación del peso equivalente.



Nota. La figura representa la caracterización del peso equivalente (titulación) para la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

Figura 23.

Titulación de la pectina extraída de la pulpa de café para la determinación del peso equivalente.



Nota. La figura representa la caracterización del peso equivalente (titulación) para la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Figura 24.

Proceso de espera para la determinación del grado de acidez libre.

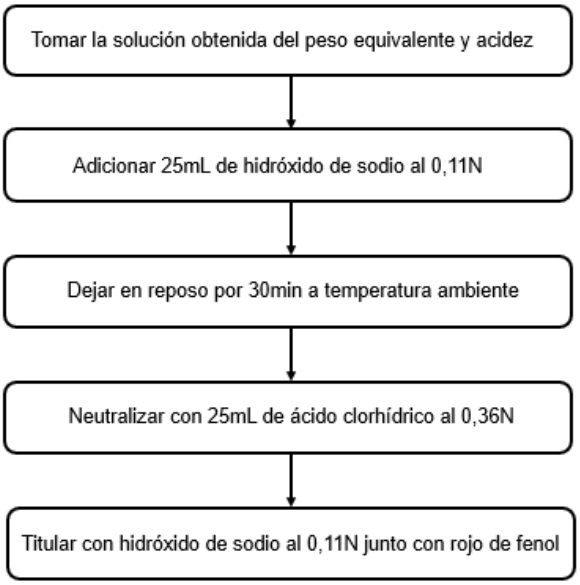
Nota. La figura representa el proceso de espera para la determinación del grado de acidez libre tanto para la pectina extraída de cáscara de naranja como para la de pulpa de café.

- Porcentaje de metoxilo

El porcentaje de metoxilo se determina con la solución obtenida para la determinación del peso equivalente y acidez. Se adicionan inicialmente 25 mL de hidróxido de sodio al 0,11 N para desesterificar la pectina, luego se procede a colocarle un tapón al Erlenmeyer dejándolo en reposo por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, la solución se neutraliza con 25 mL de ácido clorhídrico al 0,36 N y se finaliza con la titulación de hidróxido de sodio al 0,11 N empleando al rojo de fenol como indicador hasta que la solución vire a un color rojizo [47].

Figura 25.

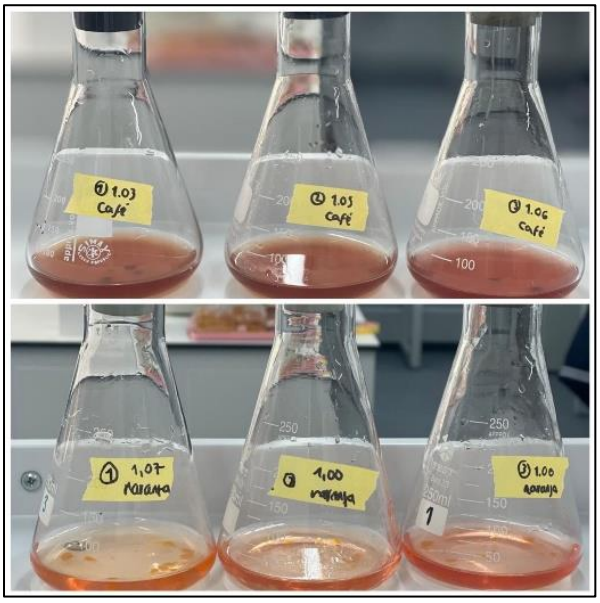
Determinación del contenido de metoxilo.



Nota. La figura representa el diagrama de bloques del procedimiento para determinar el porcentaje de metoxilo de las pectinas extraídas de ambas materias primas.

Figura 26.

Determinación de porcentaje de metoxilo posterior a la titulación.



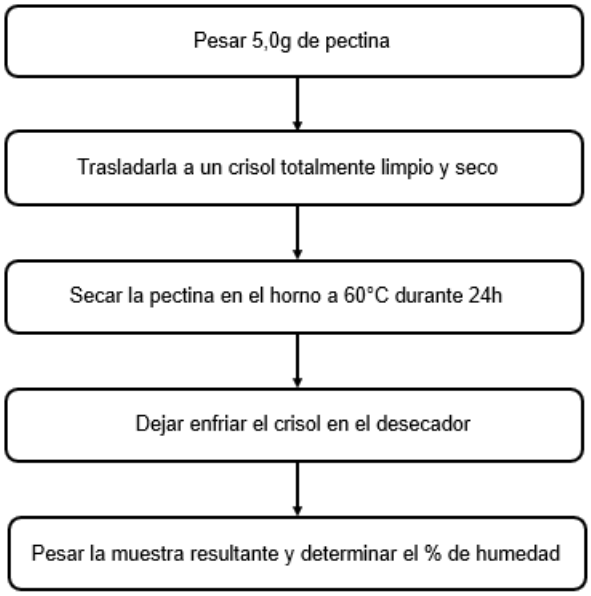
Nota. La figura representa el proceso de espera en la determinación del porcentaje de metoxilo posterior a la titulación para las pectinas extraídas de ambas materias primas.

- Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad es uno de los factores que indica la estabilidad de la pectina porque por las características químicas que tiene, se puede dar el crecimiento de microorganismos. Para iniciar, se pesa alrededor de 5,0 g de pectina y se traslada a un crisol totalmente limpio y seco, se deja secar a una temperatura de 60 °C durante 24 horas, transcurrido el tiempo, se retira del horno el crisol y se deja enfriar en el desecador hasta peso constante. Se pesa y se determina el porcentaje de humedad, involucrando la pérdida de peso con relación a la sustancia húmeda [10].

Figura 27.

Determinación del porcentaje de humedad.



Nota. La figura representa el diagrama de bloques del procedimiento para determinar el contenido de humedad de las pectinas extraídas de ambas materias primas.

Figura 28.

Prueba de humedad para las pectinas extraídas.

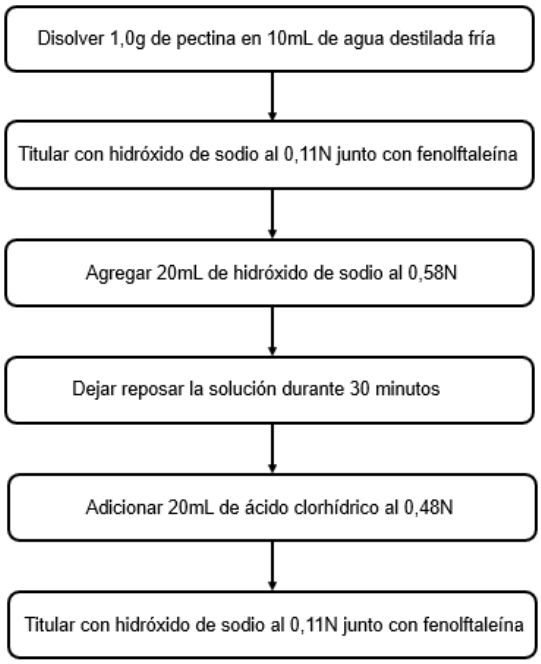
Nota. La figura muestra seis capsulas con pectina extraída colocadas dentro de un horno para la prueba de humedad.

- Grado de esterificación

Siguiendo la técnica de Owens, el grado de esterificación 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 y los gastados en la determinación del contenido de metoxilo. Multiplicando este valor por 100 para expresarlo en porcentaje [46].

Figura 29.

Determinación del grado de esterificación.



Nota. La figura representa el diagrama de bloques del procedimiento para determinar el grado de esterificación de las pectinas extraídas.

Figura 30.

Prueba titulada del grado de esterificación en pectinas.

Nota. La figura presenta la prueba realizada para la determinación del grado de esterificación en pectinas de las materias primas seleccionadas.

- Contenido de ácido galacturónico

La determinación del porcentaje de ácido anhídrido galacturónico permite conocer el grado de pureza de la sustancia péptica, esto debido a que la pectina es un polisacárido constituido por ácido D-galacturónico en su mayoría y alrededor del 10% o más de la cadena puede presentar otros azúcares, como arabinosa, glucosa y ramnosa. La ecuación consiste en emplear los datos que fueron registrados en las titulaciones para determinar el grado de esterificación y los miliequivalentes de hidróxido de sodio empleados en cada valoración [47].

2.4 Elaboración de las biopelículas

En el presente apartado se dará a conocer el proceso de elaboración de las biopelículas, con una formulación previamente seleccionada a condiciones específicas, para posteriormente realizar una serie de pruebas mecánicas a las mismas.

En primer lugar, se plantearon diferentes formulaciones con el fin de determinar con cuál de estas se obtenían mejores características visuales y al tacto, estas formulaciones fueron basadas en la investigación *"Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica"* [11], en el artículo

“Biopelículas producidas con cascara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana” [28] donde se realizaron dos formulaciones variando los contenidos de la pectina, cáscara de naranja, glicerol y celulosa bacteriana y finalmente en el trabajo de grado *“Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula utilizando pectina extrada enzimáticamente de la cáscara de naranja valenciana* [27] donde emplearon metodologías variando las concentraciones de agua y pectina. Partiendo de este experimento se logró obtener una formulación eficiente para continuar con la elaboración requerida de las seis biopelículas, como se presenta en las tablas No.4 y 5, donde el porcentaje de pectina está distribuido a la mitad si se requiere una biopelícula con ambas pectinas (combinada, es decir, 5% para pectina de pulpa de café y 5% para pectina de cáscara de naranja) y de no ser así el porcentaje se toma en su totalidad para la pectina de la materia prima que se requiera (10% pectina de cáscara de naranja o 10% pectina de pulpa de café).

Tabla 4.

Formulación de biopelícula para ambas materias primas sin almidón.

COMPUESTO	CANTIDAD (%)
Alcohol Polivinílico	45
Benzoato de Sodio	10
Pectina	10
Glicerol	35
Total	**100**

Nota. La anterior tabla representa la formulación para la elaboración de las diferentes biopelículas sin presencia de almidón para cada materia prima.

Tabla 5.

Formulación de biopelícula para ambas materias primas con almidón.

COMPUESTO	CANTIDAD (%)
Alcohol Polivinílico	40
Benzoato de Sodio	10
Pectina	10
Almidón	10
Glicerol	30
Total	**100**

Nota. La anterior tabla representa la formulación para la elaboración de las diferentes biopelículas con presencia de almidón para cada materia prima.

Los diferentes compuestos fueron mezclados y disueltos en agua a una temperatura de 30 °C (se consideró necesario el calentamiento para lograr una mejor disipación y homogeneidad de los compuestos), agregados en el orden en que se presentan en las anteriores tablas con agitación constante; la tabla No.4 es la base para la elaboración de tres biopelículas de las cuales la primera es con pectina extraída de la cáscara de naranja, la segunda con pectina extraída de la pulpa de café y la restante es una combinación 50/50 de ambas pectinas con el fin de saber qué biopelícula presenta las mejores propiedades; por parte de la tabla No.5 es la base para la formulación de las tres biopelículas restantes, las cuales son similares a las anteriores con la excepción de que se les agregó almidón con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

Una vez se han agregado todos los compuestos y las mezclas se encuentran homogéneas, se emplea la técnica de “casting” para la elaboración de las biopelículas, donde se vierte en un molde diferente cada mezcla, dejándose al aire libre (temperatura ambiente) para su secado durante un periodo de 72 horas que puede variar dependiendo el lugar donde se sitúen.

Cada reactivo empleado cumple con una función diferente dentro de la biopelícula, donde el alcohol polivinílico actúa como el polímero que será uno de los componentes

primordiales, ya que le dará las propiedades para poder moldear y manipular, el glicerol actuará como el plastificante porque ofrece buena elasticidad a las películas sin reducir su resistencia a la tracción, sin embargo, presenta dos problemáticas las cuales son el no reducir la permeabilidad al vapor de agua y el que sea higroscópico, afectando el rango de aplicación de las biopelículas [28], el benzoato de sodio como el agente conservador evitando que la biopelícula se deteriore al trascurrir el tiempo [48]. La pectina presente en la pared celular de las frutas y plantas actúa como gelificante en presencia de agua, dándole estabilidad a la biopelícula y el almidón cumple las funciones de degradabilidad, así como el mejoramiento de las propiedades mecánicas, brindándoles mayor dureza.

Figura 31.

Preparación de biopelículas.

Nota. La figura representa la elaboración de las biopelículas.

Figura 32.

Biopelículas.

Nota. La figura representa las biopelículas realizadas en los moldes por el método de "*casting*".

3. RESULTADOS

3.1 Propiedades de las materias primas

Se presentan las ecuaciones con las cuales se realizaron los respectivos cálculos para obtener las propiedades de humedad y cenizas para la cáscara de naranja (*C. sinensis*), donde su estado de maduración fue en una coloración tipo 4 (ver figura 10) y la pulpa de café (*C. arábica*) que presento un estado de maduración en tonalidad amarilla (ver figura 11).

3.1.1 Humedad

La humedad se expresa en porcentaje en masa y se calcula de la siguiente manera:

- Cáscara de naranja (*C. sinensis*)

$$Humedad = \frac{(M_{ch} - M_{cs})}{M_i} * 100$$

Donde:

$$M_{ch}: masa\ de\ la\ capsula\ más\ la\ muestra\ humeda, en\ gramos$$
$$M_{cs}: masa\ de\ la\ capsula\ más\ la\ muestra\ seca, en\ gramos$$
$$M_i: masa\ inicial\ de\ la\ muestra, en\ gramos$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

$$Humedad = \frac{(70{,}60 - 66{,}98)}{4{,}98} * 100$$
$$Humedad = 72{,}69\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes porcentajes de humedad de la misma forma y se presentan en la tabla No.6:

Tabla 6.

Porcentaje de humedad para la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Humedad (%)
1	72,69
2	72,55
3	78,93
Media	74,72
Desviación estándar	3,64

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para la prueba de humedad de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del porcentaje de humedad, se presentan los resultados en la tabla No.7:

Tabla 7.

Porcentaje de humedad para la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Humedad (%)
1	71,86
2	74,01
3	74,30
Media	73,39
Desviación estándar	1,33

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para la prueba de humedad de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.1.2 Cenizas

El contenido de las cenizas se expresa en porcentaje y se calcula aplicando la siguiente ecuación:

- Cáscara de naranja (*C. sinensis*)

$$Cenizas = \frac{(M_c - M_0)}{(M_m - M_0)} * 100$$

Donde:

$$M_m: masa\ de\ la\ capsula\ más\ la\ muestra, en\ gramos$$
$$M_c: masa\ de\ la\ capsula\ más\ las\ cenizas, en\ gramos$$
$$M_0: masa\ de\ la\ capsula\ vacía, en\ gramos$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

$$Cenizas = \frac{(65{,}72 - 65{,}66)}{(66{,}98 - 65{,}66)} * 100$$
$$Cenizas = 4{,}55\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes porcentajes de cenizas de la misma forma y se presentan en la tabla No.8:

Tabla 8.

Porcentaje de cenizas para la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Cenizas (%)
1	4,55
2	3,68
3	3,70
Media	3,98
Desviación estándar	0,50

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para la prueba de cenizas de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Pulpa de café (*C. arábica*)

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del porcentaje de humedad, se presentan los resultados en la tabla No.9:

Tabla 9.

Porcentaje de cenizas para la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Cenizas (%)
1	8,97
2	6,76
3	8,00
Media	7,91
Desviación estándar	1,11

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para la prueba de cenizas de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.2 Extracción química de la pectina

En este apartado se mencionarán los rendimientos del diseño de experimentos planteado donde se manejaron tres tiempos (20, 30 y 40 minutos) a tres pH (2, 3 y 4) estimados, donde sus valores reales fueron de 2,3 - 3,1 y 3,8 cada uno con su respectiva réplica para así obtener un resultado más preciso, se presenta la ecuación con la cual se realizaron los cálculos que serán presentados más adelante.

$$Rendimiento = \frac{g\ de\ materia\ prima - g\ de\ pectina}{g\ de\ materia\ prima} * 100$$

- Cáscara de naranja (*C. sinensis*)

Tabla 10.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 20 minutos

20 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	1,98	3,96	5,16
	2	0,60	1,20	
3,1	1	0,42	0,84	1,42
	2	0,29	0,58	
3,8	1	0,59	1,18	1,64
	2	0,23	0,46	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la cáscara de naranja (*C. sinensis)* durante un tiempo de 20 minutos.

Tabla 11.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 30 minutos

30 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	0,01	0,02	0,14
	2	0,06	0,12	
3,1	1	0,01	0,02	0,18
	2	0,08	0,16	
3,8	1	0,07	0,14	0,30
	2	0,08	0,16	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la cáscara de naranja (*C. sinensis)* durante un tiempo de 30 minutos.

Tabla 12.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 40 minutos

40 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	0,07	0,14	0,20
	2	0,03	0,06	
3,1	1	0,01	0,02	0,26
	2	0,12	0,24	
3,8	1	0,29	0,58	0,68
	2	0,05	0,10	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la cáscara de naranja (*C. sinensis)* durante un tiempo de 40 minutos.

- Pulpa de café (*C. arábica*)

Tabla 13.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 20 minutos

20 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	0,40	0,80	1,28
	2	0,24	0,48	
3,1	1	0,22	0,44	1,08
	2	0,32	0,64	
3,8	1	0,13	0,26	0,96
	2	0,35	0,70	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la pulpa de café (*C. arábica)* durante un tiempo de 20 minutos.

Tabla 14.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 30 minutos

30 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	0,14	0,28	0,60
	2	0,16	0,32	
3,1	1	0,21	0,42	0,84
	2	0,21	0,42	
3,8	1	0,23	0,46	0,70
	2	0,12	0,24	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la pulpa de café (*C. arábica)* durante un tiempo de 30 minutos.

Tabla 15.

Resultados del rendimiento a un tiempo de 40 minutos

40 minutos				
pH	*Ensayo*	*Gramos de pectina*	*Rendimiento (%)*	*Rendimiento total (%)*
2,3	1	0,28	0,56	0,82
	2	0,13	0,26	
3,1	1	0,11	0,22	0,48
	2	0,13	0,26	
3,8	1	0,13	0,26	0,58
	2	0,16	0,32	

Nota. La anterior tabla representa los resultados del rendimiento de la extracción química realizada en balones de destilación para la pulpa de café (*C. arábica)* durante un tiempo de 40 minutos.

Después de los resultados anteriores se determina que la mejor opción para la continua extracción de la pectina (de ambas materias primas) es a condiciones de pH 2,3 con un tiempo de 20 minutos como se puede observar en la tabla resumen No.16.

Tabla 16.

Rendimientos obtenidos para la cáscara de naranja y pulpa de café resumen.

		Tiempo (min)		
Materia prima	pH	20	30	40
Cascara de Naranja (*C. sinensis*)	2	5,16%	0,14%	0,20%
	3	1,42%	0,18%	0,26%
	4	1,64%	0,30%	0,68%
Pulpa de café (*C. arábica*)	2	1,28%	0,60%	0,82%
	3	1,08%	0,84%	0,48%
	4	0,96%	0,70%	0,58%

Nota. La anterior tabla representa los rendimientos obtenidos para la cáscara de naranja y pulpa de café durante los experimentos factorial para la extracción de la pectina.

Como se mencionó en el capítulo de metodología se determinó que el uso de beaker de 2000 mL para la extracción de pectinas era más optimo, esto mediante una toma de decisiones y así mismo un ensayo; los resultados obtenidos para este se presentan en la tabla No.17.

Tabla 17.

Comparación de rendimientos obtenidos para la cascara de naranja y pulpa de café.

	Balones de destilación (6)		**Beaker 2000 mL (1)**	
Materia prima	Peso materia prima (g)	Pectina obtenida (g)	Peso materia prima (g)	Pectina obtenida (g)
Cascara de Naranja (*C. sinensis*)	602,23	2,37	615,20	20,57
Pulpa de café (*C. arábica*)	600,66	6,50	430,89	17,32

Nota. La anterior tabla representa los gramos obtenidos para la cáscara de naranja y pulpa de café durante la comparación de la hidrolisis para la extracción de la pectina.

3.3 Recolección de la pectina extraída

Una vez se llevaron a cabo todas las extracciones de pectina tanto para la cáscara de naranja como para la pulpa de café, se realizan los cálculos para determinar cuanta pectina se recolectó en total y así poder iniciar la elaboración de las biopelículas.

Por parte de la cáscara de naranja se llevaron a cabo 15 extracciones de pectina en los beaker de 2000 mL, obteniendo un total de, 9220,80 g de materia prima empleada; igualmente, por parte de la pulpa de café, se realizaron 15 extracciones de pectina en los beaker de 2000 mL, empleando alrededor de 6623,40 g de materia prima. Finalmente, se obtuvieron 231,01 g de pectina de cáscara de naranja y 203,98 g de pectina de pulpa de café, de la cual una parte se empleará para la elaboración de las biopelículas y otra para la caracterización de estas.

3.4 Caracterización de la pectina extraída

En este numeral se explicarán las diferentes pruebas realizadas a las pectinas obtenidas tanto de cáscara de naranja (*C. sinensis*) y pulpa de café (*C. arábica*) para su respectiva caracterización y análisis.

3.4.1 Peso equivalente y grado de acidez libre

El peso equivalente se expresa en ${}^{mg}/_{mEq}$ y se calcula de la siguiente manera:

$$Peso\ Equivalente = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ (mg)}{meq.\ de\ hidróxido\ de\ sodio * 0{,}11N}$$

Donde:

$$0{,}11N: Valor\ de\ la\ estandarización\ del\ hidróxido\ de\ sodio$$

$$meq.\ de\ hidróxido\ de\ sodio: miliequivalentes\ de\ NaOH\ empleados\ en\ la\ titulación$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Peso equivalente de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$Peso\ Equivalente = \frac{502mg}{0{,}7ml * 0{,}11N}$$

$$Peso\ Equivalente = 6519{,}48\frac{mg}{mEq}$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores de peso equivalente de la misma forma y se presentan en la tabla No.18:

Tabla 18.

Resultados de peso equivalente para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Peso Equivalente (mg/mEq)
1	6519,48
2	4590,91
3	5772,73
Media	5627,71
Desviación estándar	972,42

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores de peso equivalente para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Peso equivalente de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del peso equivalente, se presentan los resultados en la tabla No.19:

Tabla 19.

Resultados de peso equivalente para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Peso Equivalente (mg/mEq)
1	11386,36
2	11363,64
3	9200
Media	10650
Desviación estándar	1255,79

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores de peso equivalente para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

El grado de acidez libre se expresa en $^{mEq}/_{g}$ y se calcula de la siguiente manera:

$$Acidez\ libre = \frac{meq.\ de\ hidróxido\ de\ sodio * 0{,}11N}{Peso\ de\ la\ muestra\ (g)}$$

Donde:

$$0{,}11N: Valor\ de\ la\ estandarización\ del\ hidróxido\ de\ sodio$$

$$meq.\ de\ hidróxido\ de\ sodio: miliequivalentes\ de\ NaOH\ empleados\ en\ la\ titulación$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Acidez libre de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$Acidez\ Libre = \frac{0{,}7ml * 0{,}11N}{0{,}502g}$$

$$Acidez\ Libre = 0{,}15\frac{mEq}{g}$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores del grado de acidez libre de la misma forma y se presentan en la tabla No.20:

Tabla 20.

Resultados del grado de acidez libre para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Acidez Libre (mEq/g)
1	0,15
2	0,22
3	0,17
Media	0,18
Desviación estándar	0,036

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del grado de acidez libre para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)*

- Acidez libre de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del grado de acidez libre, se presentan los resultados en la tabla No.21:

Tabla 21.

Resultados del grado de acidez libre para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Acidez Libre (mEq/g)
1	0,09
2	0,09
3	0,11
Media	0,10
Desviación estándar	0,01

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del grado de acidez libre para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.4.2 Porcentaje de metoxilo

La cantidad de metoxilo se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$\%Metoxilo = \frac{meq.\ de\ hidróxido\ de\ sodio * 0{,}11N * 31}{Peso\ de\ la\ muestra\ (mg)} * 100$$

Donde:

$$31: Peso\ molecular\ del\ metóxilo\ (CH_3O) exprersado\ en \frac{mg}{mEq}$$

$$0{,}11N: Valor\ de\ la\ estandarización\ del\ hidróxido\ de\ sodio$$

$$meq. de\ hidróxido\ de\ sodio: miliequivalentes\ de\ NaOH\ empleados\ en\ la\ titulación$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Porcentaje de metoxilo de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$\%Metoxilo = \frac{37{,}1ml * 0{,}11N * 31}{502mg} * 100$$

$$\%Metoxilo = 25{,}20\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores del porcentaje de metoxilo de la misma forma y se presentan en la tabla No.22:

Tabla 22.

Resultados del porcentaje de metoxilo para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Metoxilo (%)
1	25,20
2	25,46
3	24,90
Media	25,19
Desviación estándar	0,28

Nota. Representación del triplicado realizado para los valores del porcentaje de metoxilo para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Porcentaje de metoxilo de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del porcentaje de metoxilo, se presentan los resultados en la tabla No.23:

Tabla 23.

Resultados del porcentaje de metoxilo para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Metoxilo (%)
1	25,25
2	25,30
3	25,00
Media	25,18
Desviación estándar	0,16

Nota. Representación del triplicado realizado para los valores del porcentaje de metoxilo para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.4.3 Porcentaje de humedad

La humedad se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$Humedad = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100$$

Donde:

$$M_i: masa\ de\ la\ capsula\ más\ la\ muestra\ humeda, en\ gramos$$

$$M_f: masa\ de\ la\ capsula\ más\ la\ muestra\ seca, en\ gramos$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Porcentaje de humedad de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$Humedad = \frac{(77{,}77g - 73{,}74g)}{77{,}77g} * 100$$

$$Humedad = 5{,}18\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores del porcentaje de humedad para la pectina de la misma forma y se presentan en la tabla No.24:

Tabla 24.

Resultados del porcentaje de humedad para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Humedad (%)
1	5,18
2	4,44
3	7,37
Media	5,66
Desviación estándar	1,52

Nota. Representación del triplicado realizado para los valores del porcentaje de humedad para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Porcentaje de humedad de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del porcentaje de humedad, se presentan los resultados en la tabla No.25:

Tabla 25.

Resultados del porcentaje de humedad para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Humedad (%)
1	4,65
2	4,65
3	4,59
Media	4,63
Desviación estándar	0,03

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del porcentaje de humedad para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.4.4 Grado de esterificación

El grado de esterificación se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$Grado\ de\ Esterificación = \frac{meq.\ de\ NaOH_A * 0{,}11N}{(meq.\ de\ NaOH_B * 0{,}11N) + (meq.\ de\ NaOH_A * 0{,}11N)} * 100$$

Donde:

$$meq.\ de\ NaOH_A: mEq\ de\ NaOH\ empleado\ en\ la\ titulación\ de\ porcentaje\ de\ metoxilo.$$

$$meq.\ de\ NaOH_B: mEq\ de\ NaOH empleado\ en\ la\ titulación\ de\ peso\ equivalente\ y\ acidez.$$

$$0{,}11N: Valor\ de\ la\ estandarización\ del\ hidróxido\ de\ sodio$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Grado de esterificación de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$Grado\ de\ Esterificación = \frac{37{,}1ml * 0{,}11N}{(0{,}7ml * 0{,}11N) + (37{,}1ml * 0{,}11N)} * 100$$

$$Grado\ de\ Esterificación = 98{,}15\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores del grado de esterificación para la pectina de la misma forma y se presentan en la tabla No.26:

Tabla 26.

Resultados del grado de esterificación para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Grado de Esterificación (%)
1	98,15
2	97,42
3	97,89
Media	97,82
Desviación estándar	0,37

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del grado de esterificación para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Grado de esterificación de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del grado de esterificación, se presentan los resultados en la tabla No.27:

Tabla 27.

Resultados del grado de esterificación para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Grado de Esterificación (%)
1	98,93
2	98,93
3	98,67
Media	98,84
Desviación estándar	0,15

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del grado de esterificación para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.4.5 Contenido de ácido galacturónico

El contenido de ácido galacturónico se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$\%\ Ácido\ Galacturónico = \frac{176 * 100 - \left((meq.\ de\ NaOH_A * 0{,}11N) - (meq.\ de\ NaOH_B * 0{,}11N)\right)}{Peso\ de\ la\ muestra\ (mg)}$$

Donde:

$$meq.\ de\ NaOH_A: mEq\ de\ NaOH\ empleado\ en\ la\ titulación\ de\ porcentaje\ de\ metoxilo.$$

$$meq.\ de\ NaOH_B: mEq\ de\ NaOHempleado\ en\ la\ titulación\ de\ peso\ equivalente\ y\ acidez.$$

$$0{,}11N: Valor\ de\ la\ estandarización\ del\ hidróxido\ de\ sodio$$

$$176: Peso\ molecular\ del\ ácido\ anhídrido\ galacturónico\ expresado\ en\ mg/mEq$$

Esta prueba se llevó a cabo por triplicado con el fin de obtener un resultado más preciso.

- Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

$$\%\ Ácido\ Galacturónico = \frac{176 * 100 - \left((37{,}1ml * 0{,}11N) - (0{,}7ml * 0{,}11N)\right)}{502mg}$$

$$\%\ Ácido\ Galacturónico = 35{,}05\%$$

Partiendo del procedimiento anterior y haciendo uso de la ecuación planteada, se calculan los siguientes valores del contenido de ácido galacturónico para la pectina de la misma forma y se presentan en la tabla No.28:

Tabla 28.

Resultados del contenido de ácido galacturónico para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (C. sinensis)

Prueba	Ácido Galacturónico (%)
1	35,05
2	34,84
3	34,64
Media	34,84
Desviación estándar	0,21

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del contenido de ácido galacturónico para la pectina extraída de la cáscara de naranja *(C. sinensis)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

- Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*).

Haciendo uso de la ecuación planteada para el cálculo del contenido de ácido galacturónico, se presentan los resultados en la tabla No.29:

Tabla 29.

Resultados del contenido de ácido galacturónico para las pectinas extraídas de la pulpa de café (C. arábica)

Prueba	Ácido Galacturónico (%)
1	35,12
2	35,19
3	34,77
Media	35,03
Desviación estándar	0,23

Nota. La anterior tabla representa los resultados del triplicado realizado para los valores del contenido de ácido galacturónico para la pectina extraída de la pulpa de café *(C. arábica)* junto con cálculos estadísticos como la media y desviación estándar.

3.5 Propiedades mecánicas de las biopelículas

Se realizaron tres ensayos/pruebas a las seis diferentes biopelículas elaboradas, las cuales son: resistencia a la tensión, dureza shore y permeabilidad, cabe resaltar que

dichas pruebas fueron ejecutadas en los laboratorios de las áreas de química y mecánica de la Universidad de América.

3.5.1 Resistencia a la tensión

Esta prueba fue realizada mediante el uso de la máquina universal de ensayos, donde para verificar el comportamiento mecánico de las biopelículas se realizaron 6 lotes (cada biopelícula) con 3 muestras, es decir, un triplicado de cada lote. El procedimiento inicia asegurando la muestra en la máquina y con ayuda del software *Trapezium* se especificaron la fuerza, la velocidad, las medidas de la probeta, y de más información requerida para el ensayo.

La norma establecida para el desarrollo apropiado de la prueba es la ASTM D412, esta es la más empleada para la determinación de las propiedades de tensión de la elastómeros y caucho vulcanizados. Se lleva a cabo en una máquina de prueba universal a una velocidad de 100 ± 50 mm/min hasta que falla la muestra [126].

Figura 33.

Posición inicial de la maquina universal de ensayos, con biopelícula asegurada.

Nota. Se presenta la biopelícula asegurada donde la máquina se encuentra en su posición inicial.

A medida que avanza la prueba y va aumentando la fuerza, la probeta se va elongando hasta su rotura, esta elongación es conocida como esfuerzo y representa el aumento de longitud de la muestra de ensayo, como se puede apreciar en la figura No.32.

Figura 34.

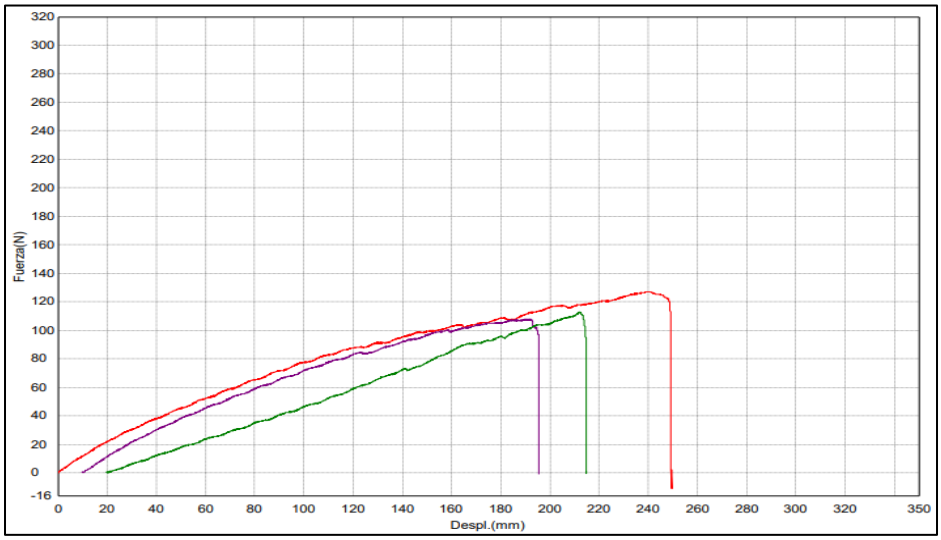
Elongación y rotura de la biopelícula en el ensayo de tensión.

Nota. Se evidencia la elongación y rotura de una de las biopelículas elaboradas, para el ensayo de tensión.

Los gráficos de fuerza-desplazamiento de cada lote elaborado se presentarán en las figuras 35,36,37,38,39 y 40, donde posterior a estos se presentan los resultados obtenidos durante el ensayo.

Figura 35.

Ensayo 1: biopelícula de pectina de cáscara de naranja.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 1 de biopelícula a partir de pectina extraída de cáscara de naranja.

Tabla 30.

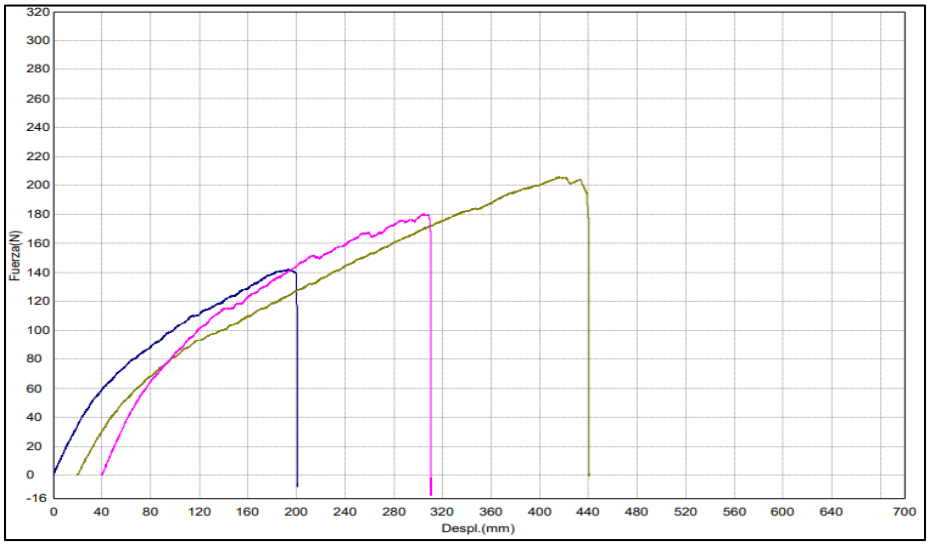
Ensayo 1: biopelícula de pectina de cáscara de naranja.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	127,18	240,37
2	107,67	180,22
3	112,79	192,48
Media	115,88	204,36
Desv.Estandar	10,12	31,79

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 1 de biopelícula a partir de pectina extraída de cáscara de naranja.

Figura 36.

Ensayo 2: biopelícula de pectina de pulpa de café.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 2 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café.

Tabla 31.

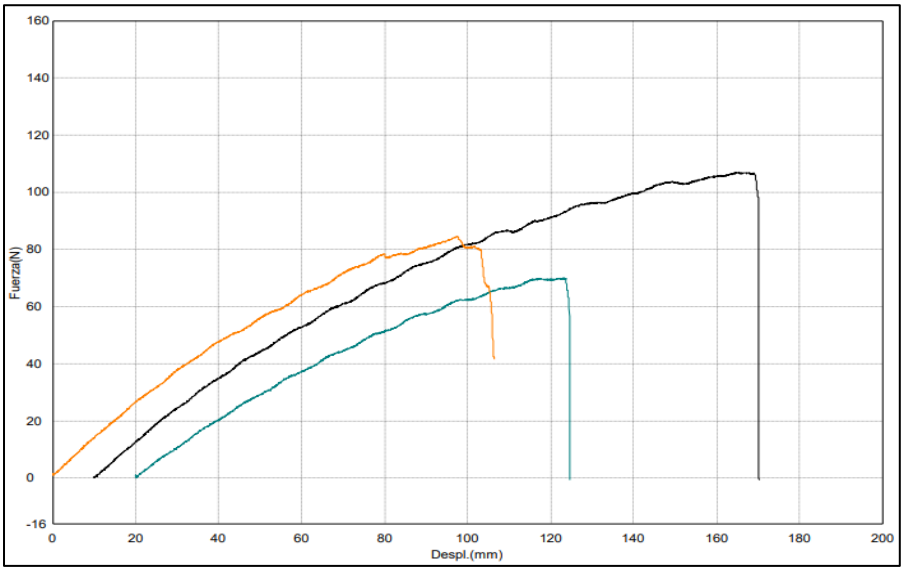
Ensayo 2: biopelícula de pectina de pulpa de café.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	142,07	193,68
2	205,83	395,52
3	180,21	264,63
Media	176,04	284,61
Desv.Estandar	32,08	102,38

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 2 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café.

Figura 37.

Ensayo 3: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 3 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café y cáscara de naranja.

Tabla 32.

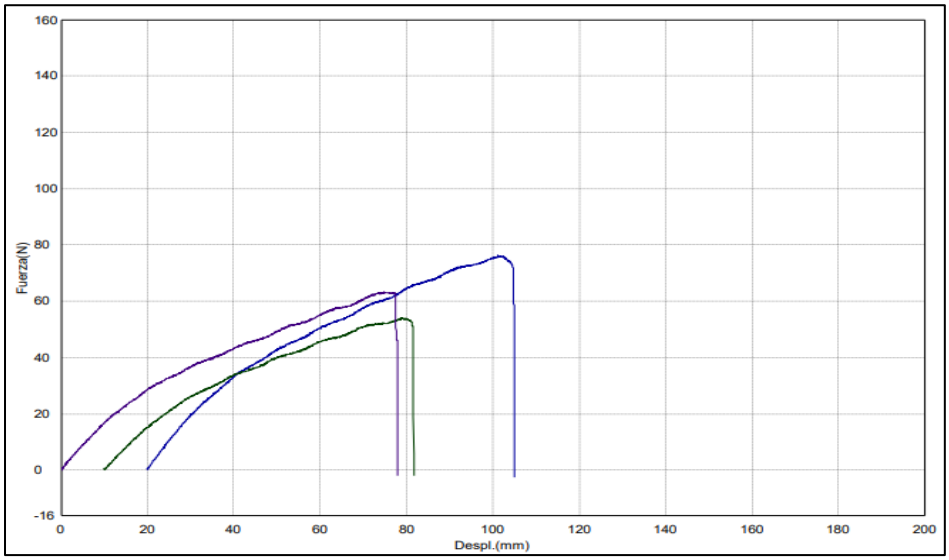
Ensayo 3: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	84,63	97,67
2	106,96	155,33
3	69,94	103,12
Media	87,17	118,71
Desv.Estandar	18,64	31,83

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 3 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café y cáscara de naranja.

Figura 38.

Ensayo 4: biopelícula de pectina de cáscara de naranja con almidón.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 4 de biopelícula a partir de pectina extraída de cáscara de naranja con almidón.

Tabla 33.

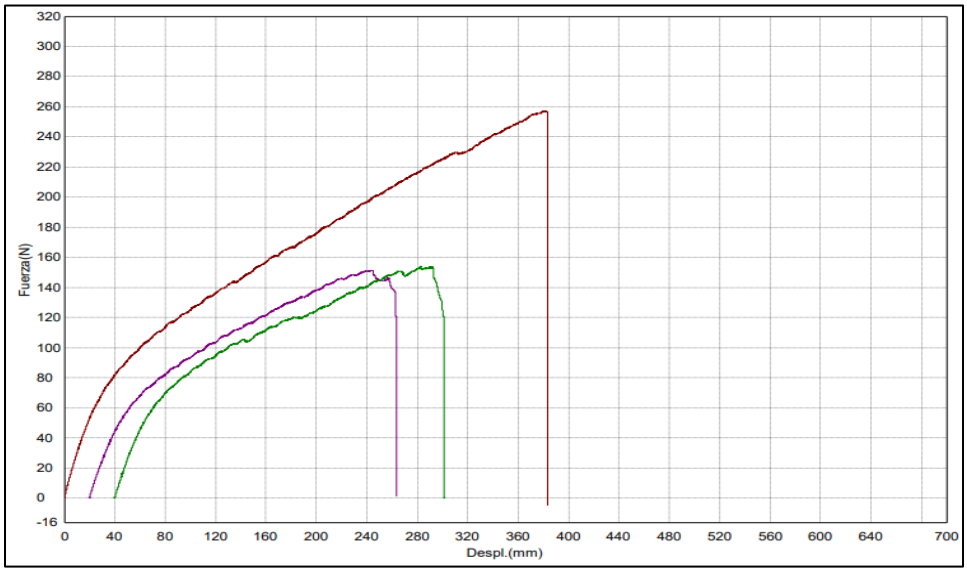
Ensayo 4: biopelícula de pectina de cáscara de naranja con almidón.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	63,18	74,78
2	54,00	68,93
3	76,14	81,27
Media	64,44	74,99
Desv.Estandar	11,12	6,16

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 4 de biopelícula a partir de pectina extraída de cáscara de naranja con almidón.

Figura 39.

Ensayo 5: biopelícula de pectina de pulpa de café con almidón.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 5 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café con almidón.

Tabla 34.

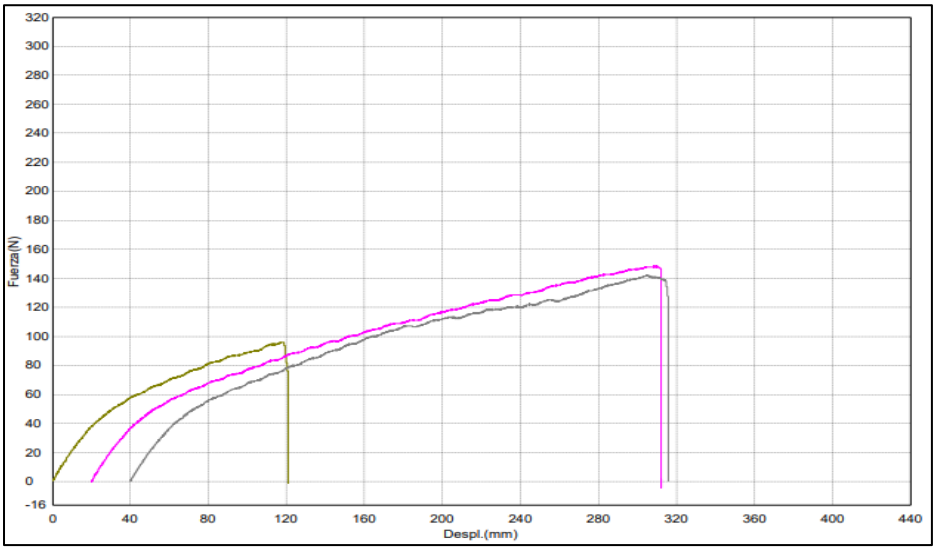
Ensayo 5: biopelícula de pectina de pulpa de café con almidón.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	257,03	382,17
2	151,42	224,89
3	153,74	242,53
Media	187,40	283,00
Desv.Estandar	60,31	86,36

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 5 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café con almidón.

Figura 40.

Ensayo 6: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón.



Nota. Se presenta el grafico arrojado por el software *Trapezium* para el ensayo 6 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón.

Tabla 35.

Ensayo 6: biopelícula de pectina de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón.

Muestra	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)
1	96,17	118,10
2	148,18	288,85
3	142,03	265,65
Media	128,79	224,20
Desv.Estandar	28,41	92,61

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores de fuerza y desplazamiento obtenidos por el software *Trapezium* para el ensayo 6 de biopelícula a partir de pectina extraída de pulpa de café y cáscara de naranja con almidón.

3.5.2 Dureza Shore

Esta prueba fue realizada siguiendo la norma DIN 53505 la cual es un estándar reconocido para medir la dureza de los cauchos/plásticos bien sea en escala shore A o shore D mediante un durómetro, este método busca probar la profundidad del material, donde este debe tener aproximadamente 6,4 mm de espesor con el fin de obtener un

contacto firme con el durómetro [127], se realizó directamente sobre cada biopelícula en tres lados diferentes para obtener más precisión sobre el resultado.

Figura 41.

Medición de dureza shore

Nota. La figura anterior representa la medición ejemplo de la dureza shore D en la biopelícula con pectina extraída de pulpa de café.

Mediante esta prueba se planeó obtener el comportamiento viscoelástico de cada una de las biopelículas; se debe tener en cuenta que para la elaboración de las biopelículas no se realizó mediante un moldeo por inyección o algún proceso de extrusión, por esta razón las biopelículas no eran perfectamente uniformes, es importante mencionar que la dureza obtenida es dureza shore D la cual será modificada a shore A, ya que esta es la escala más conveniente para medir los materiales elastómeros termoplásticos (o plásticos más blandos) como se mencionó en el marco conceptual.

Figura 42.

Tabla de conversión dureza shore

Shore 00 (ASTM D 2240)	Shore 0 (ASTM D 2240)	Shore A (DIN 53505)	Shore D (DIN 53505)	IRHD (ASTM 1415)
		100	58	100
		95	46	95
		90	39	90
		85	33	85
98	84	80	29	80
97	79	75	25	74
95	75	70	22	68
94	72	65	19	64
93	69	60	16	62
91	65	55	14	54
90	61	50	12	49
88	57	45	10	44
86	53	40	8	39
83	48	35	7	35
80	42	30	6	28
76	35	25		
70	28	20		
62	21	15		
55	14	10		
45	8	5		
Elastómeros celulares de media y baja densidad	Elastómeros compactos y celulares de media densidad	Elastómeros compactos y celulares	Poliuretanos, PTFE rígido, Termoplásticos y Elastómeros muy duros	Elastómeros compactos

Nota. Se presenta la tabla de conversión de dureza shore. Tomado de: MEREFSA - Meet Your Silicone | MEREFSA | Utilidades: Tabla de relación de durezas (conversión). Available: https://www.merefsa.com.

Mediante la anterior figura se puede realizar la conversión de los datos obtenidos, así:

Tabla 36.

Datos registrados en la medición de dureza shore en las biopelículas elaboradas.

Biopelícula	Muestra	Shore D	Shore A
Naranja	1	5	
	2	6	
	3	4	
	Media	5	25
	Desv.Estandar	1%	
Café	1	5	
	2	6	
	3	6	
	Media	5,70	30
	Desv.Estandar	0,58%	
Combinada	1	5	
	2	5	
	3	6	
	Media	5,30	25

	Desv.Estandar	0,57%	
Naranja - almidón	1	10	
	2	9	
	3	9	
	Media	9,30	40,50
	Desv.Estandar	0,58%	
Café - almidón	1	8	
	2	6	
	3	7	
	Media	7	35
	Desv.Estandar	1%	
Combinada - almidón	1	7	
	2	6	
	3	7	
	Media	6,70	35
	Desv.Estandar	0,58%	

Nota. En la tabla anterior se evidencia los valores registrados durante la prueba de dureza shore D en tres diferentes putos de la biopelícula y su respectiva conversión a shore A.

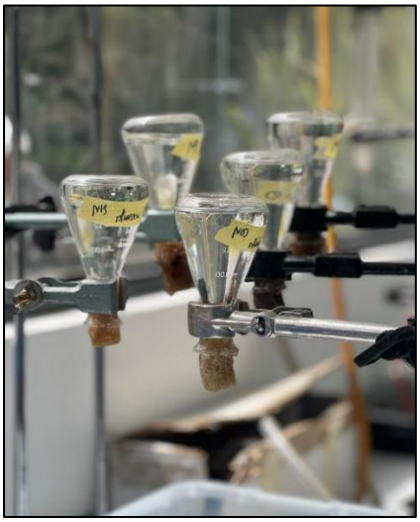
3.5.3 Permeabilidad

La permeabilidad es la idoneidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin modificar su estructura interna, se sabe que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad de fluido considerable en un tiempo dado, por el contrario, se considera impermeable si la cantidad de fluido es despreciable o nula [63].

Para llevar a cabo esta prueba se emplearon 6 Erlenmeyer de 100 mL, a los cuales se le agrego 100 mL de agua, posterior a eso se realizó un tapón con cada biopelícula fabricada con el fin de sellarlos y no permitir así el paso del agua. Realizado ese paso se procede a voltear cada Erlenmeyer con ayuda de soportes universales durante un periodo de 24 horas, para así determinar y calcular los resultados de permeabilidad de cada biopelícula

Figura 43.

Prueba de permeabilidad.



Nota. La figura anterior representa la prueba de permeabilidad realizada para cada biopelícula durante 24 horas.

Una vez transcurrido el tiempo establecido se procedió a nuevamente medir la cantidad de agua resultante dentro de cada Erlenmeyer para determinar su porcentaje de permeabilidad y a su vez la impermeabilidad.

$$\%Permeabilidad = \frac{mL_i - mL_f}{mL_i} * 100$$

Donde:

$$mL_i: mililitros\ de\ agua\ inicial$$

$$mL_f: mililitros\ de\ agua\ final$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de cáscara de naranja.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 95mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 5\%$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de pulpa de café.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 96mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 4\%$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de pulpa de café y cáscara de naranja.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 97mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 3\%$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de cáscara de naranja con almidón.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 96mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 4\%$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de pulpa de café con almidón.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 94mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 6\%$$

- Porcentaje de permeabilidad de la biopelícula a partir de cáscara de naranja y pulpa de café con almidón.

$$\%Permeabilidad = \frac{100mL - 95mL}{100mL} * 100$$

$$\%Permeabilidad = 5\%$$

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1 Porcentaje de humedad de las materias primas

- Cáscara de naranja (*C. sinensis*)

De los resultados obtenidos se concluye que la media de la humedad para la cáscara de naranja (*C. sinensis*) fue de 74,72% y según el valor arrojado por la desviación estándar se interpreta que los datos de la muestra varían en promedio 3,64% respecto de la media. En el artículo *"Prueba de cenizas y humedad en naranja valenciana"* [108] se obtuvo un valor de 82,08% presentando una mayor cantidad de agua a comparación del obtenido en el presente trabajo, esto se puede ver influenciado debido al estado de maduración de la cáscara de naranja empleada donde se estima un valor 85,90% de contenido de humedad deseable, pues, una humedad alta va a reducir la traspiración y el envejecimiento, logrando una disminución en cuanto al desarrollo de patógenos y prolongando la vida útil de la cáscara, considerándola aceptable [123].

- Pulpa de café (*C. arábica*)

Con los resultados alcanzados se determina que la media de la humedad para la pulpa de café (*C. arábica*) fue de 73,39% y según el valor obtenido por la desviación estándar se interpreta que los datos de la muestra varían alrededor de un 1,33% respecto de la media, presentando además una menor variación en comparación con la cáscara de naranja. En la revista *Agroproductividad*, la publicación *"Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (Coffea arábica L.)"* [109] se obtuvo un valor de 85,37% presentando una mayor cantidad de agua a comparación del obtenido en el presente trabajo, esto se puede ver influenciado debido al estado de maduración del fruto empleado en la prueba, pues, la pulpa de café tiene una duración limitada debido al alto contenido de humedad generando grandes pérdidas por deterioro microbiano y químico, por lo tanto se desea un contenido de humedad relativamente bajo [124].

4.2 Porcentaje de cenizas de las materias primas

- Cáscara de naranja (*C. sinensis*)

De los resultados obtenidos se concluye que la media del contenido de cenizas para la cáscara de naranja (*C. sinensis*) fue de 3,98% y según el valor arrojado por la desviación

estándar se interpreta que los datos de la muestra varían en promedio cerca de un 0,50% respecto de la media. En el artículo *"Prueba de cenizas y humedad en naranja valenciana"* [108] se obtuvo un valor de 0,091% presentando una menor cantidad de materia inorgánica en la cáscara de naranja a comparación del obtenido en el presente trabajo, esto se puede ver influenciado debido a la cantidad de materia prima que se empleó para la realización de la prueba, puesto que en el artículo mencionado se utilizaron alrededor de 2,0 g mientras que en este caso se utilizaron aproximadamente 5,0 g, partiendo del resultado obtenido en el presente trabajo se estima valor 3,29% de cenizas deseable, ya que, es beneficioso obtener menores valores después de haber calcinado la materia orgánica [123].

- Pulpa de café (*C. arábica*)

Con los resultados alcanzados se determina que la media del contenido de cenizas para la pulpa de café (*C. arábica*) fue de 7,91% y según el valor obtenido por la desviación estándar se interpreta que los datos de la muestra varían alrededor de un 1,11% respecto de la media, presentando además una mayor variación en comparación con la cáscara de naranja. En la revista *Agroproductividad*, la publicación *"Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (Coffea arábica L.)"* [109] se obtuvo un valor de 9,58% en base seca, presentando así una mayor cantidad de materia inorgánica en la pulpa de café a comparación del obtenido en el presente trabajo, esto se puede ver influenciado debido al tiempo y temperatura de residencia que se manejó durante la realización de la prueba, según este resultado obtenido se estima un valor 7,51% de cenizas deseado, teniendo en cuenta que las cenizas obtenidas no presentan las mismas sustancias inorgánicas del alimento original debido a las pérdidas por volatilización [125].

4.3 Peso equivalente y acidez libre de las pectinas extraídas

Según los resultados alcanzados por parte del peso equivalente, se obtuvo una media de, 5627,71 $^{mg}/_{mEq}$ para la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y 10650 $^{mg}/_{mEq}$ para la pulpa de café (*C. arábica*), estos se interpretan como la cantidad de radicales carboxilos libres en donde actúa la cantidad adicionada de hidróxido de sodio separando los protones de las moléculas [49]. Consultando en bibliografía se obtuvieron valores mucho mayores respecto a otros estudios sobre extracción y caracterización de pectina, por un

lado, se encuentra la cáscara de la chirimoya con, 2506,2$^{mg}/_{mEq}$ [50] y 5091,4$^{mg}/_{mEq}$ para la cáscara del fruto de cacao [47]. Ahora bien, relacionando el peso equivalente con la acidez libre, se comprobó que, a mayor peso equivalente, menor será la acidez libre presente en la pectina; en el presente documento se obtuvieron como resultados 0,18$^{mEq}/_{g}$ para la cáscara de naranja y 0,10 $^{mEq}/_{g}$ para la pulpa de café; para la cáscara de chirimoya se obtuvo 0,40$^{mEq}/_{g}$ [49] y 0,20$^{mEq}/_{g}$ [47] para la cáscara del fruto del cacao, de esta manera se confirma lo mencionado anteriormente, pues las materias primas empleadas en el presente trabajo obtuvieron valores superiores frente a las consultadas.

Asimismo, según el valor obtenido por la desviación estándar se interpreta que los datos de la muestra de cáscara de naranja varían alrededor de un 0,036 respecto de la media, presentando además una mayor variación en comparación con la pulpa de café (0,01).

4.4 Porcentaje de metoxilo presente en las pectinas

Según la bibliografía consultada, una pectina (en la práctica) contiene alrededor del 14% de contenido de metoxilo, según esto se ha establecido un 7% en contenido de metoxilo como punto medio con el fin de poder diferenciar los tipos de pectina, si es menor al 7% se clasifica como pectina de bajo metoxilo y si es mayor, como pectina de alto metoxilo. [6]. El porcentaje de metoxilo para la cáscara de naranja fue de 25,19% y para la pulpa de café 25,18%, clasificándolas, así como pectinas de alto metoxilo, estos resultados permiten también catalogarlas como pectinas de gelificación rápida, donde en un tiempo aproximado de cinco minutos o menos se obtiene un gel con alrededor de 68 a 75% de esterificación con metanol y un pH ácido entre 2 y 3,5. En el trabajo de grado "*Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica"* [11] se obtuvo como resultado un 14,43% de contenido de metoxilo, donde el resultado obtenido en el presente trabajo fue mayor indicando que la pectina se gelificara más rápido que la investigada.

Según el valor obtenido por la desviación estándar, se interpreta que los datos de la muestra de pulpa de café varían alrededor de un 0,16 % respecto de la media, presentando además una menor variación en comparación con la cáscara de naranja

(0,28%); sin embargo, ambos resultados son bastante óptimos pues se encuentran menores al 10%.

4.5 Porcentaje de humedad en las pectinas extraídas

La humedad de una pectina es un factor de gran importancia, pues se relaciona directamente con la estabilidad, pureza y capacidad de permitir el crecimiento de microorganismos (principalmente hongos), se tiene que una pectina muy húmeda es complicada de pulverizar, pues se adhiere a las superficies y posee menor tiempo de vida útil [10]. Se obtuvo un valor de 5,66% para la pectina extraída de la cáscara de naranja y 4,63% para la pectina extraída de la pulpa de café, según literatura el valor máximo permitido es del 10% por lo cual se considera que ambas materias primas se encuentran dentro del rango establecido. Comparando los resultados con otras materias primas, se encontró que la pectina extraída de la cáscara de plátano presenta una humedad alrededor del 6,0 y 7,0%, y de la pectina extraída tanto de la pulpa del níspero de la sierra como del mesocarpio de la granadilla se obtuvieron 17,80% y 17,50%, respectivamente [50]. De esto, se puede concluir que las pectinas extraídas de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*) son las que presentan menor cantidad de agua, además de mencionar que, según los resultados de la desviación estándar, los datos de la muestra de cáscara de naranja varían alrededor de un 1,52% respecto de la media, presentando además una mayor variación en comparación con la pulpa de café (0,03%).

4.6 Grado de esterificación de las pectinas extraídas

El grado de esterificación establece la relación entre el contenido de ácido galacturónico esterificado y el total presente en la pectina, estableciendo así la propiedad gelificante y su aplicación, donde a mayor grado de esterificación, mayor viscosidad de la pectina [11]. Las pectinas se pueden clasificar de “alto metoxilo” si presentan un grado de esterificación mayor al 50% y de “bajo metoxilo” cuando es inferior al 50% [7]. Se obtuvieron como resultados 97,82% para la pectina de la cáscara de naranja y 98,84% para la pectina de la pulpa de café, según esto, ambas se clasifican como pectinas de alto metoxilo con propiedades de gelificación rápida, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el contenido de metoxilo mencionados anteriormente, donde en este caso

es favorable el obtener estas pectinas de gelificación rápida, ya que, esto tendrá repercusión en el tiempo de producción de biopelículas en la planta piloto, de tal modo que al gelificarse la pectina en un tiempo inferior a cinco minutos se lograría obtener un porcentaje mayor de biopelículas fabricadas. Según literatura se obtuvieron resultados como 72,0% por parte de la cáscara del fruto del cacao [47], 71,87% por parte de la cáscara de la chirimoya [49], y alrededor de 76,54 y 95,50% para la cáscara de plátano [10], clasificándolos a todos como pectinas de alto metoxilo, sin embargo, los resultados obtenidos para la cáscara de naranja y la pulpa de café sobresalen frente a los consultados presentando mayor viscosidad.

Se presentan unas desviaciones estándar de 0,37% y 0,15% respecto de la media para la pectina extraída de la cáscara de naranja y pulpa de café, respectivamente, ambos resultados son bastante óptimos pues se encuentran menores al 10%.

4.7 Contenido de ácido galacturónico en las pectinas

Se obtuvieron como resultados del contenido de ácido anhidrido galacturónico 34,84% para la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y 35,03% para la pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*), junto con unas desviaciones estándar de 0,21% y 0,23% respecto de la media para la pectina extraída de la cáscara de naranja y pulpa de café, respectivamente, considerando que la toma de datos fue la más acertada evidenciando una desviación estándar menor al 1,0% en ambos casos.

El porcentaje de ácido anhidrido galacturónico es una prueba del grado de pureza de la pectina, según fuentes consultadas se obtuvieron distintos valores del ácido anhidrido galacturónico como lo son: 12,5% para la pectina extraída a partir de la cáscara del fruto del cacao [47], 25,15% para la cáscara de chirimoya [49], 87,93% para la pulpa del níspero de la sierra y finalmente 85,99% para el mesocarpio de la granadilla [50]. Analizando los resultados se obtiene una mayor pureza de los dos últimos mencionados, respecto a la pectina extraída de la cáscara de naranja y la pulpa de café que presentan una pureza relativamente baja, esto se da por dos razones, la primera donde la pectina no está conformada solamente por acido D-galacturónico dentro de su estructura, pues también presenta en menor proporción otros azúcares como lo son: la glucosa, ramnosa

y arabinosa; la segunda razón es por la presencia de residuos de cáscaras en el proceso del filtrado disminuyendo su pureza [47].

4.8 Propiedades mecánicas de las biopelículas

Las biopelículas fueron previamente estandarizadas según las especificaciones de las normas DIN 53505 (dureza shore) y ASTM D412 (resistencia a la tensión) establecidas para los equipos que se requirieron durante el desarrollo de estas, como lo es el durómetro y la máquina universal de ensayos.

La norma DIN 53505 hace referencia a la penetración de un tipo determinado de indentador cuando se fuerza el material a condiciones específicas, es aplicada a piezas de caucho y elastómeros, donde la rigidez de estos está determinada por sus propiedades viscoelásticas, en particular por su módulo elástico determinado con el durómetro [51].

La norma ASTM D412 indica el ensayo de tracción para determinar las propiedades de tracción de los materiales termoplásticos y de caucho, existen dos métodos (A y B) para este caso se empleó el método A, el cual consiste en procedimientos utilizados para ensayar las probetas de sección recta y de mancuernas [52].

4.8.1 Resistencia a la tensión

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*)

Como se evidencia en la tabla No.32 los datos obtenidos mediante la figura No.33 se realizaron 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) obteniendo una media de la fuerza alrededor de 115,88 N y una desviación estándar de 10,12 este valor se puede considerar aceptable, sin embargo, se encuentra en el límite de la aceptación, pese a esto las 3 muestras presentaron un comportamiento similar entre sí. Igualmente, por parte del desplazamiento se evidencian grandes valores, concluyendo así que la biopelícula presenta gran elongación y se considera flexible.

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*)

Como se evidencia en la tabla No.33 los datos obtenidos mediante la figura No.34 se llevaron a cabo 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de la pulpa de café (*C. arábica*) obteniendo una media de fuerza de 176,04 N y una desviación estándar de 32,08 este valor se puede considerar alto en comparación al límite de aceptación (10), se concluye que se pudo haber obtenido de esta manera, ya que al dividir la biopelícula en tres secciones, la muestra No.2 (la de la mitad) tenía mayor uniformidad en su apariencia. Por parte del desplazamiento se evidencian grandes valores considerando flexible a la biopelícula, sin embargo, un poco distantes entre sí, infiriendo que la biopelícula de la mitad (es decir, la muestra No.2) presenta mayor desplazamiento por poseer mayor igualdad en sus dimensiones.

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) y pulpa de café (*C. arábica*)

Como se evidencia en la tabla No.34 los datos obtenidos mediante la figura No.35 se realizaron 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) combinada con pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*), obteniendo una media de fuerza alrededor de 87,17 N con una desviación estándar de 18,64 este valor se puede considerar alto en comparación al límite de la aceptación (10) este resultado se pudo haber obtenido, ya que al dividir a la biopelícula en tres secciones, la muestra No.2 tenía mayor igualdad en su apariencia presentando así un mayor desplazamiento y de igual forma soportando una mayor fuerza.

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) con almidón

Como se evidencia en la tabla No.35 los datos obtenidos mediante la figura No.36 se realizaron 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) con almidón, obteniendo una media de fuerza de 64,44 N y una desviación estándar de 11,12 valor que es considerado aceptable a pesar de sobrepasar el límite de aceptación de 10, en este caso se puede ver que la segunda muestra presenta un valor menor en cuanto a la fuerza y desplazamiento, caso contrario a las

anteriores biopelículas, se infiere que sucedió esto por causa de un posible mal corte o por la presencia del almidón.

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*) con almidón

Como se evidencia en la tabla No.36 los datos obtenidos mediante la figura No.37 se realizaron 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*) con almidón, obteniendo una media de fuerza alrededor de 187,40 N, con una desviación estándar de 60,31 resultado que presenta gran variación respeto de la media considerándose no aceptable, como justificación de este valor se soporta que en el primer ensayo (muestra No.1) se deslizó la biopelícula de los cabezales de la máquina cuando alcanzo el desplazamiento máximo de 382,17 mm deteniendo de esta manera la prueba.

- Biopelícula elaborada de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) y pulpa de café (*C. arábica*) con almidón

Como se evidencia en la tabla No.37 los datos obtenidos mediante la figura No.38 se realizaron 3 ensayos para la biopelícula elaborada a partir de pectina extraída de cáscara de naranja (*C. sinensis*) combinada con pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*) y almidón, obteniendo una media de fuerza de 128,79 N y una desviación estándar de 28,41 este valor se debe a que el primer ensayo (muestra No.1) no resistió lo suficiente en comparación con los otros dos (muestras No. 2 y 3), esto se debe a que posiblemente al momento del corte, la primera muestra presento cierta irregularidad comparada con las otras dos provocando así su rotura a una distancia relativamente baja en contraste con sus dos réplicas.

El resultado final de las seis biopelículas demostró que antes de llegar al punto de rotura tuvieron una elongación considerable dejando ver la presencia de dos fases, la primera corresponde al comportamiento elástico el cual representa que las deformaciones del material son directamente proporcionales con la fuerza aplicada, es decir, que la deformación obtenida es reversible y no permanente, mientras que el segundo indica un comportamiento plástico, el cual refleja un modo de deformación en el que el material no regresa a su estado original después de finalizar la carga aplicada, es decir, que las

deformaciones no son reversibles [53], según las gráficas presentadas y después de finalizar los ensayos, se evidenció mayormente el segundo comportamiento mencionado, estableciendo así que las biopelículas poseen propiedades de una deformación permanente.

Figura 44.

Comparación previa y finalizada la prueba de resistencia a la tensión.

Nota. La figura representa una de las biopelículas antes y después de su rotura en el ensayo de tensión.

Según la norma ASTM D412 la cual describe los métodos para determinar las propiedades de tracción de elastómeros y cauchos exige un mínimo recorrido de 750 mm [52], partiendo de esto las biopelículas elaboradas no cumplen con esta exigencia dados los resultados presentados en las tablas No. 32 a 37, puesto que la media mayor fue de 284,61 mm para la biopelícula fabricada a partir de pectina extraída de pulpa de café (*C. arábica*), sin embargo, los resultados presentados por la biopelícula fabricada de pectina extraída de pulpa de café de tipo arábica [11] se obtuvo un recorrido máximo

alrededor de 16 mm, en comparación con las realizadas se concluye que presentan mejores propiedades mecánicas como lo pueden ser una mayor cantidad de fuerza aplicada.

Un parámetro que pudo influir en los resultados de este ensayo es el porcentaje de glicerol, ya que este era el plastificante, lo que pudo ocasionar la fragilidad y poca resistencia en las biopelículas, afectando la cristalinidad del material, es decir, que las cadenas o parte de ellas no se agruparon de manera ordenada ocasionando así regiones amorfas [54]. Para los polímeros las moléculas se encuentran en cadenas muy largas haciendo que se enreden con facilidad pues están distribuidas de forma aleatoria encontrándose en un medio muy viscoso, donde a velocidades de enfriamiento elevadas las moléculas no tendrán suficiente tiempo para lograr alinearse en una red cristalina justo antes de su solidificación obteniendo así regiones amorfas [122]. Otro parámetro que pudo afectar es la aplicación correcta de la pectina, puesto que en la formulación no se encontraba totalmente pulverizada, alterando así el resultado final de la biopelícula, pues no se logró tener una mezcla totalmente homogénea.

En el artículo “Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia” [55] se elaboró una biopelícula a base de almidón de plátano con aceite de canela obteniendo una tensión de 2,84 MPa; por otro lado, en el artículo “Elaboración y caracterización de biopelículas elaborados con quitosano y adicionadas con partículas de almidón” [56] se menciona que la adición de partículas de almidón disminuye la resistencia a la tracción desde 5 MPa hasta 4,3 MPa, esto se da por la formación de enlaces de hidrógeno entre el quitosano y las partículas de almidón. Una biopelícula debe ser capaz de resistir el estrés normal durante su aplicación y manipulación para mantener las propiedades de barrera, y esto se ve reflejado en la prueba de tracción, según lo obtenido en el presente estudio se obtuvo un resultado mínimo de 0,34 MPa y un máximo de 0,97 MPa en el ensayo, comparando con los otros estudios se obtiene un resultado bajo, disminuyendo sus posibilidades de sustituir varios polímeros comerciales.

Finalmente, cabe resaltar que, pese a los bajos resultados obtenidos durante el ensayo de resistencia a la tensión y con una exhaustiva búsqueda en literatura, las biopelículas poseen similitud con algunos tipos de polímeros, como lo es el PVC blando (con

reblandecedor) ya que presenta una resistencia a la tensión relativamente baja (10-14 MPa) y es blando como la goma, debido a que el PCV no es un elastómero y esta relleno de plastificante presenta un elongamiento bajo y del mismo modo una resistencia a la tensión baja, este puede ser utilizado para la fabricación de láminas, cubiertas, molduras y cables [130]; sin embargo, pese a que el neopreno se encuentra en la industria como un caucho sintético, se encontró que en su variedad CR-V2 presenta una resistencia a la tracción de 4,5 kgf/cm^2 es decir 0,44 MPa [57], valor similar al obtenido en el presente trabajo, por esta razón se plantea la hipótesis de que las biopelículas puedan llegar a considerarse un sustituto del mismo en el relleno de cajas metálicas para proteger el contenido, adicional de ser empleado como aislante térmico, presentar alta resistencia a los impactos y ser un material particularmente útil en la fabricación de accesorios de protección industrial, accesorios deportivos, médicos, entre otras aplicaciones.

4.8.2 Dureza shore

Se obtuvieron los siguientes valores de desviación estándar para cada tipo de biopelícula fabricada, como lo son 1% para biopelícula de naranja y café con almidón, 0,58% para café, naranja con almidón y combinada con almidón y finalmente 0,57% para la combinada; estos valores se consideran aceptables, puesto que no varían una cantidad considerable respecto de la media y no superan el 10%

Conocer la dureza shore de un material es fundamental para saber la aplicación de este, además de emplearla para determinar la resistencia al desgaste, impactos y abrasión. La dureza shore A es la más empleada para medir la dureza de los plásticos más blandos como se evidencia en la figura No.45 [59].

Figura 45.

Clasificación de la dureza shore A

SHORE A	EXTRA SUAVE	SUAVE	MEDIO SUAVE	MEDIO DURO	DURO	EXTRA DURO
	0-10	10-30	30-60	60-80	80-100	

Nota. La figura representa la clasificación de los materiales que sean clasificados mediante la dureza shore A. Tomado de: "Escala de dureza shore: todo lo que necesitas saber," 2023. Available: https://3dalia.com/escala-de-dureza-shore/.

Partiendo de las mediciones realizadas para posteriormente convirtiéndolas a la dureza a emplear (shore A) y mediante revisión bibliográfica, se obtiene que los materiales más cercanos a las durezas obtenidas son: las bandas elásticas con una dureza shore A entre valores de 25 a 35 [59], uretano de baja dureza como lo pueden llegar a ser las hojas de uretano con una dureza shore A de 15 [60] estos podrían acercarse a las biopelículas con valores entre 25 a 35 shore A obtenidas a acepción de la biopelícula de naranja con almidón.

Finalmente, el neopreno que puede ser utilizado para la fabricación de implementos de protección industrial con el fin de evitar posibles accidentes, ya que cuenta con una dureza shore A entre 40 a 95 [61]. También es considerado un “material inteligente” por sus grandes propiedades elásticas y térmicas, perteneciente a la familia de los cauchos sintéticos [62], en este caso la biopelícula más cercana a sus características es la de naranja con almidón.

Los materiales mencionados son fabricados comúnmente con derivados del petróleo, como lo es el caso del Neopreno. Como se mencionó anteriormente, este material puede ser requerido para la fabricación de equipos de protección industrial como lo son guantes, trajes y así mismo protección de máquinas industriales, partiendo del impacto medioambiental se busca una alternativa a este material que puede llegar a ser perjudicial en un futuro, de esta manera se plantea el uso de las biopelículas como posibles sustituyentes, ya que presentan características similares como la dureza especificada y la resistencia a la tensión, sin embargo, se requeriría de una mayor cantidad de pruebas y mejoras para lograr una mayor similitud con el elastómero.

4.8.3 Permeabilidad

La permeabilidad al ser definida como el paso de gases o líquidos a través de un material sólido, es considerada importante para la aplicación dentro de las diferentes industrias para crear una barrera con el entorno externo dañino, las películas, láminas y recipientes fabricados a base de polímeros de una o diferentes capas se utilizan con el fin de asegurar y perseverar la vida útil de los productos [64], partiendo de esto es importante saber qué tipo de uso se le dará a la biopelícula para cumplir con estos objetivos de ser necesario.

Los resultados obtenidos reflejan una alta impermeabilidad por parte de todas las biopelículas, pues sus resultados de permeabilidad fueron: 5% para las biopelículas de naranja y combinada con almidón, un 4% para la biopelícula de café y naranja con almidón, finalmente 6% y 3% para las biopelículas de café con almidón y combinada, respectivamente, sin embargo, el agua al entrar en contacto con las biopelículas no logró fluir a través de ellas presentando una baja permeabilidad, por el contrario, absorbieron el agua evidenciando un comportamiento de degradabilidad progresivo en el que se desintegraran en cierto periodo de tiempo.

Relacionando el concepto de dureza shore, la permeabilidad y el neopreno, este al poseer alta resistencia al impacto y capacidad de amortiguamiento puede ser empleado para la protección de equipos industriales; ahora bien, la biopelícula con los resultados que se han presentado puede sustituir de alguna forma este material, pues sumado a esas características similares presenta también una baja permeabilidad, lo que va a mantener seguro al equipo si está expuesto a alguna calamidad.

5. DISEÑO PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPELÍCULAS

Para poder llevar a cabo el diseño de una planta piloto se debe realizar una descripción sobre las condiciones y especificaciones técnicas del proceso de obtención de las biopelículas, en un principio se consultó en literatura sobre investigaciones que involucraran el diseño de una planta piloto para la elaboración de biopelículas mediante el método de “casting” y también sobre la extracción de pectina a través de la hidrólisis ácida, esto con el fin de tener una referencia para poder unificarlos y llevar a cabo los diagramas (de bloques y de proceso). Se plantea una base de cálculo de, 961051 kg de pulpa de café/día según [65] y 556121 kg de cáscara de naranja/día según [66] a nivel planta industrial; partiendo de esta base de cálculo se establecen valores de 400 kg/día equivalente al 0,041 % y 370 kg/día equivalente al 0,066% para la pulpa de café y cascara de naranja respectivamente, a escala planta piloto donde se tomó como referencia el trabajo de grado “*Escalado de una torre de absorción*” [116] pues establecen ratios de escala comunes para algunos procesos conocidos, donde el proceso de productos sólidos o líquidos viscosos maneja un rango de escala de operación de 1 a 20 kg/h, estableciendo así una cantidad específica de materia prima para la extracción de la pectina y la posterior elaboración de las biopelículas, mencionando también los materiales, equipos y métodos a emplear para cada proceso de la planta considerando las condiciones operativas.

Una vez se realiza el proceso de casting de las biopelículas, se requiere un secado el cual su único objetivo es solidificar las biopelículas, sin la necesidad de retirar el agua empleada durante el mezclado pues esta se integró de manera total con los demás compuestos en esa operación, adicional, el proceso productivo de biopelículas en la planta piloto se llevará a cabo por lotes (batch) según sea el requerimiento de la materia prima en la biopelícula.

El diseño global del proceso y de los diagramas surge de un escalamiento de los distintos equipos que fueron utilizados en el laboratorio y de las revisiones realizadas sobre diferentes investigaciones como lo son “*Extracción y caracterización de pectinas a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general de proceso de producción*” [10] y “*Producción de un biopelícula a partir de las pectinas extraídas del mucilago de*

café" [43], acerca del procesamiento y extracción de la pectina de materias orgánicas, junto con la elaboración de biopelículas a nivel industrial (planta piloto).

Con el objetivo de cumplir con el escalamiento, se describe en la tabla No.37 el equipo utilizado en el laboratorio y se establecen los equipos para el proceso a nivel planta piloto tanto para la extracción de la pectina de ambas materias primas como para la elaboración de las biopelículas.

Tabla 37.

Equipos empleados a nivel laboratorio y planta piloto para la extracción de la pectina y elaboración de las biopelículas.

Proceso	Laboratorio	Planta piloto
Lavado de materia prima	El lavado se realizó de forma manual, removiendo excesos de suciedad e impurezas de la pulpa de café y la cáscara de naranja al momento de su recolección.	Un grupo de empleados se encargará de llevar la materia prima a un tanque en presencia de agua con el fin de ablandarlas y favorecer su limpieza.
Reducción de tamaño	Cada materia prima se cortó en trozos más pequeños para facilitar su manipulación en el siguiente proceso, buscando una similitud en sus tamaños.	La cáscara de naranja y la pulpa de café serán enviadas a un triturador industrial con el fin de aumentar su área superficial y de esta manera tener el mismo tamaño en ambas materias primas.
Hidrólisis ácida	El proceso de hidrólisis se puede llevar a cabo de dos formas la primera mediante un montaje soxhlet en balones de 100 mL y la	Se va a llevar a cabo en un tanque abierto enchaquetado con agitación, donde una vez

	segunda en beaker de 2000 mL, con la disolución de ácido clorhídrico y la materia prima que corresponda a temperatura y tiempo especificados.	ingresada la materia prima y la disolución de ácido se realiza el calentamiento con las condiciones previamente estipuladas (temperatura y tiempo).
Filtración 1	Una vez finalizada la hidrólisis se procede a filtrar el contenido de los beaker con ayuda de un papel absorbente, donde el producto de interés es el líquido filtrado, desechando los residuos de materia orgánica.	El filtro prensa será el encargado de realizar la función de separación del líquido de interés y los sólidos gruesos y finos, además de retirar las impurezas que puedan llegar afectar la pureza de la pectina.
Precipitación de la pectina	Se realizó en beaker, donde se adiciono primeramente el líquido obtenido en el proceso de filtración y etanol en la misma cantidad, dejando en reposo durante un tiempo determinado.	Se realizará esta precipitación en un tanque cerrado enchaquetado, donde se hace pasar una cantidad de agua para enfriar la solución y de esta manera poder adicionar el etanol industrial, donde guardara reposo por cierta cantidad de tiempo.
Filtración 2	Una vez culminado el tiempo de precipitación se llevó a cabo una nueva filtración donde el producto de interés fue el sólido (es decir, la pectina) en platos de cristalización haciendo uso de papel absorbente.	Se requerirá de nuevo un filtro prensa con el fin de separar el etanol de la pectina húmeda para su recolección y posterior proceso de secado.

Secado de pectina	Los platos de cristalización con la pectina recolectada fueron secados de dos maneras distintas, la primera mediante ayuda de un horno a temperatura establecida, con constante revisión y la segunda al aire libre de igual forma con constante revisión.	Se llevará a cabo en un secador de bandejas con control de temperatura para evitar la pérdida e incineración de la pectina.
Molienda de pectina	Una vez secada la pectina en el horno se trituro con ayuda de un mortero.	Es seleccionado un molino de bolas para la trituración de pectina.
Mezclado	Se realizó en un beaker de 1000 mL donde se fueron adicionando los diferentes reactivos y sumado a estos la pectina recolectada anteriormente, en un orden especifico con calentamiento y agitación constante hasta alcanzar una consistencia homogénea.	El mezclado se llevará a cabo en un tanque mezclador enchaquetado, donde se realizará la solución formadora de las biopelículas, se considera necesario el calentamiento para el fácil manejo e incorporación de los reactivos.
Casting	Una vez obtenida la mezcla homogénea es distribuida en moldes previamente seleccionados dejándose secar al aire libre durante un periodo propuesto para su posterior desmolde y realización de pruebas mecánicas.	Este proceso se maneja de manera continua dejándose esparcir uniformemente en una banda transportadora para su posterior secado, corte y ejecución de pruebas necesarias.

Nota. La anterior tabla hace referencia al proceso a nivel laboratorio y su escalamiento a nivel planta pilo de la extracción de pectinas y elaboración de las biopelículas.

Una vez realizado el escalamiento, se lleva a cabo el diseño de los diagramas de bloques y proceso, para después explicar detalladamente el balance de masa correspondiente a cada materia prima y las especificaciones de los equipos.

5.1 Diagrama BFD

El diagrama de bloques del proceso se puede ver en el anexo No.4 al final del documento.

5.2 Diagrama PFD

El diagrama de bloques del proceso se puede ver en el anexo No.5 al final del documento.

5.3 Balance de masa

5.3.1 Blance de masa para biopelícula fabricada con pectina extraída de cáscara de naranja.

Para iniciar con el balance de masa se tiene en cuenta la base de cálculo planteada anteriormente, la cual es 370 kg cáscara de naranja/día; según la literatura consultada la densidad de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) se asume como 0,85 kg/L [67].

$$370\frac{kg\ cascara\ naranja}{día} * \frac{1\ L}{0{,}85\ kg} = 435{,}29\frac{L\ cascara\ naranja}{día}$$

En el laboratorio se llevaron a cabo procesos de hidrólisis empleando alrededor de 9220,80 g de solidos por 15 extracciones de cáscara de naranja en volúmenes de 2000 mL.

$$435{,}29\ \frac{L\ cascara\ naranja}{día} * \frac{9220{,}80g}{30L} * \frac{1kg}{1000g} = 133{,}79\frac{kg\ cascara\ naranja}{día}$$

$$370\frac{kg\ cascara\ naranja}{día} - 133{,}79\frac{kg\ cascara\ naranja}{día} = 236{,}21\frac{kg\ cascara\ naranja}{día}$$

El flujo obtenido en kg de cáscara de naranja por día que ingresaran al tanque de agitación abierto donde se llevara a cabo la hidrólisis es de 236,21.

Es necesario trabajar con flujo volumétrico para lo cual se realizará la siguiente conversión haciendo uso de la densidad de la materia prima.

$$236{,}21\,\frac{kg\ cascara\ naranja}{día} * \frac{1\ L}{0{,}85\ kg} = 277{,}89\,\frac{L\ cascara\ naranja}{día}$$

En el laboratorio, se emplearon 2,70 mL de ácido clorhídrico por cada 800 mL de cáscara de naranja. (densidad del ácido clorhídrico al 37% es de 1,180 kg/L [68]).

$$277{,}89\,\frac{L\ cascara\ naranja}{día} * \frac{2{,}70\ mL\ HCl}{800mL} = 0{,}94\,\frac{L\ HCl}{día}$$

$$0{,}94\,\frac{L\ HCl}{día} * \frac{1{,}180\ kg}{1L} = 1{,}11\,\frac{kg\ HCl}{día}$$

El flujo masico y volumétrico de salida será la suma de la cáscara de naranja y la solución de ácido clorhídrico.

$$236{,}21\,\frac{kg\ cascara\ naranja}{día} + 1{,}11\,\frac{kg\ HCl}{día} = 237{,}32\,\frac{kg}{día}$$

$$277{,}89\,\frac{L\ cascara\ naranja}{día} + 0{,}94\,\frac{L\ HCl}{día} = 278{,}83\,\frac{L}{día}$$

En el proceso de filtración realizado en el laboratorio, por cada 1,5 L se obtenían 0,6 L de líquido filtrado.

$$278{,}83\,\frac{L}{día} * \frac{0{,}6L}{1{,}5L} = 111{,}53\,\frac{L\ filtrado}{día}$$

$$278{,}83\,\frac{L\ entrada}{día} - 111{,}53\,\frac{L\ filtrado}{día} = 167{,}30\,\frac{L}{día}$$

$$167{,}30\,\frac{L}{día} * \frac{0{,}85\ kg}{1L} = 142{,}21\,\frac{kg}{día}$$

$$237{,}32\,\frac{kg}{día} - 142{,}21\,\frac{kg}{día} = 95{,}11\,\frac{kg\ filtrado}{día}$$

Para la precipitación de las pectinas se adiciona etanol al 96% en una relación 1:1 volumétrica, es decir, que a los 111,53 litros de filtrado es adicionada la misma cantidad de etanol. (densidad del etanol al 96% es de 0,797 kg/L [69]).

$$111{,}53\,\frac{L\ etanol}{día} * \frac{0{,}797\ kg}{1L} = 88{,}89\,\frac{kg\ etanol}{día}$$

$$95{,}11\,\frac{kg\ filtrado}{día} + 88{,}89\,\frac{kg\ etanol}{día} = 184\,\frac{kg}{día}$$

Previo al secado se realiza una última filtración con el fin de obtener la pectina de forma húmeda, en el laboratorio donde por cada 1,2 L de filtrado se obtenían 55,51 g de pectina de cáscara de naranja.

$$184\,\frac{kg}{día} * \frac{1L}{0{,}85kg} = 216{,}47\,\frac{L}{día}$$

$$216{,}47\,\frac{L}{día} * \frac{0{,}05551\ kg\ pectina}{1{,}2L} = 10{,}01\,\frac{kg\ pectina}{día}$$

$$184\,\frac{kg\ entrada}{día} - 10{,}01\,\frac{kg\ pectina}{día} = 173{,}99\,\frac{kg}{día}$$

Una vez la pectina se encuentra seca se procede a pesar obteniendo alrededor de 231,01 g de pectina en 15 extracciones cada una de 2000 mL.

$$435{,}29\,\frac{L\ cascara\ naranja}{día} * \frac{231{,}01g\ pectina}{30L} * \frac{1kg}{1000g} = 3{,}35\,\frac{kg\ pectina}{día}$$

Finalmente, para la etapa de la molienda se estableció un porcentaje en el cual solo logra pasar el 80% del material mientras que el restante se queda en el equipo, esto según el estudio "*reducción de tamaño molienda*" [117]; al obtener la pectina de cáscara de naranja el siguiente paso será la formulación de la solución formadora de la biopelícula en el proceso de mezclado, basándose en el planteamiento mencionado en el apartado *2.4 Elaboración de las biopelículas*.

Nota: Para realizar las biopelículas de pectina combinada de ambas materias primas es necesario dividir el valor de la pectina en dos para obtener la formulación planteada.

$$2{,}68\ \frac{kg\ pectina}{día} * \frac{1000g}{1kg} = 2680\ \frac{g\ pectina}{día}$$

$$2680\ \frac{g\ pectina}{día} * \frac{150\ g\ sln\ formadora}{15\ g\ pectina} = 26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día}$$

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 26{,}8\,\frac{kg\ sln\ formadora}{día}$$

Teniendo los kilogramos de solución formadora a manejar en la planta piloto se puede calcular los kilogramos de cada compuesto de la siguiente manera si se desea una biopelícula sin almidón.

- Alcohol polivinílico

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{67{,}5\ g\ A.polivinilico}{150\ g\ sln\ formadora} = 12060\ \frac{g\ A.polivinilico}{día}$$

$$12060\ \frac{g\ A.polivinilico}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 12{,}06\ \frac{kg\ A.polivinilico}{día}$$

- Benzoato de sodio

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{15\ g\ B.sodio}{150\ g\ sln\ formadora} = 2680\ \frac{g\ B.sodio}{día}$$

$$2680\ \frac{g\ B.sodio}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 2{,}68\ \frac{kg\ B.sodio}{día}$$

- Glicerol

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{52{,}5\ g\ Glicerol}{150\ g\ sln\ formadora} = 9380\ \frac{g\ Glicerol}{día}$$

$$9380\ \frac{g\ Glicerol}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 9{,}38\ \frac{kg\ Glicerol}{día}$$

Si a la biopelícula se le desea agregar almidón, se mantienen las cantidades calculadas anteriormente para la pectina y el benzoato de sodio, los demás compuestos se calcularán de la siguiente manera:

- Alcohol polivinílico

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{60\ g\ A.polivinilico}{150\ g\ sln\ formadora} = 10720\ \frac{g\ A.polivinilico}{día}$$

$$10720\ \frac{g\ A.polivinilico}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 10{,}72\ \frac{kg\ A.polivinilico}{día}$$

- Glicerol

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{45\ g\ Glicerol}{150\ g\ sln\ formadora} = 8040\ \frac{g\ Glicerol}{día}$$

$$8040\ \frac{g\ Glicerol}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 8{,}04\ \frac{kg\ Glicerol}{día}$$

- Almidón

$$26800\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{15\ g\ Almidón}{150\ g\ sln\ formadora} = 2680\ \frac{g\ Almidón}{día}$$

$$2680\ \frac{g\ Almidón}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 2{,}68\ \frac{kg\ Almidón}{día}$$

Para finalizar el proceso de la fabricación de las biopelículas se presenta el método del casting continuo, el cual se hará por medio de una cinta trasportadora de tipo paletas, esta cuenta con un ancho de banda alrededor de 340 mm y con paletas de goma de 55 mm de alto [70], de acuerdo con esta revisión bibliográfica se considera necesario ajustar las velocidades de la banda con el fin de adecuar el correcto espesor de las biopelículas (6 mm). En seguida, se relacionan los cálculos finales.

$$340\ mm * 6\ mm = 2040\ mm^2$$

$$2040\ mm^2 * \frac{1m^2}{(1000mm)^2} = 0{,}00204\ m^2$$

$$26{,}8\ \frac{L\ sln\ formadora}{día} * \frac{1m^3}{1000\ L} = 0{,}03\ \frac{m^3 sln\ formadora}{día}$$

$$\frac{0{,}03\ \frac{m^3 sln\ formadora}{día}}{0{,}00204\ m^2} = 13{,}14\ \frac{m\ sln\ formadora}{día}$$

5.3.2 Blance de masa para biopelícula fabricada con pectina extraída de pulpa de café.

Para iniciar con el balance de masa se tiene en cuenta la base de cálculo planteada anteriormente, la cual es 400 kg pulpa de café/día; según la literatura consultada la densidad de la pulpa de café (*C. arábica*) se asume como 0,66 kg/L [71].

$$400\ \frac{kg\ pulpa\ café}{día} * \frac{1\ L}{0{,}66\ kg} = 606{,}06\ \frac{L\ pulpa\ café}{día}$$

En el laboratorio se llevaron a cabo procesos de hidrólisis empleando alrededor de 6623,40 g de solidos por 15 extracciones de pulpa de café en volúmenes de 2000 mL.

$$606{,}06\ \frac{L\ \ pulpa\ café}{día} * \frac{6623{,}40g}{30L} * \frac{1kg}{1000g} = 133{,}81\ \frac{kg\ \ pulpa\ café}{día}$$

$$400\ \frac{kg\ pulpa\ café}{día} - 133{,}81\ \frac{kg\ \ pulpa\ café}{día} = 266{,}19\ \frac{kg\ \ pulpa\ café}{día}$$

El flujo obtenido en kg de pulpa de café por día que ingresaran al tanque de agitación abierto donde se llevara a cabo la hidrólisis es de, 266,19.

Es necesario trabajar con flujo volumétrico para lo cual se realizará la siguiente conversión haciendo uso de la densidad de la materia prima.

$$266{,}19\ \frac{kg\ \ pulpa\ café}{día} * \frac{1\ L}{0{,}66\ kg} = 403{,}32\ \frac{L\ pulpa\ café}{día}$$

En el laboratorio, se emplearon 3,33 mL de ácido clorhídrico por cada 1000 mL de pulpa de café. (densidad del ácido clorhídrico al 37% es de 1,180 kg/L [68]).

$$403{,}32\ \frac{L\ pulpa\ café}{día} * \frac{3{,}33\ mL\ HCl}{1000mL} = 1{,}34\ \frac{L\ HCl}{día}$$

$$1{,}34\ \frac{L\ HCl}{día} * \frac{1{,}180\ kg}{1L} = 1{,}58\ \frac{kg\ HCl}{día}$$

El flujo masico y volumétrico de salida será la suma de la pulpa de café y la solución de ácido clorhídrico.

$$266{,}19\ \frac{kg\ \ pulpa\ café}{día} + 1{,}58\ \frac{kg\ HCl}{día} = 267{,}77\ \frac{kg}{día}$$

$$403{,}32\ \frac{L\ pulpa\ café}{día} + 1{,}34\ \frac{L\ HCl}{día} = 404{,}66\ \frac{L}{día}$$

En el proceso de filtración realizado en el laboratorio, por cada 1,5 L se obtenían 0,8 L de líquido filtrado.

$$404{,}66\ \frac{L}{día} * \frac{0{,}8L}{1{,}5L} = 215{,}82\ \frac{L\ filtrado}{día}$$

$$404{,}66\,\frac{L\ entrada}{día} - 215{,}82\,\frac{L\ filtrado}{día} = 188{,}84\,\frac{L}{día}$$

$$188{,}84\,\frac{L}{día} * \frac{0{,}66\ kg}{1L} = 124{,}63\,\frac{kg}{día}$$

$$267{,}77\,\frac{kg}{día} - 124{,}63\,\frac{kg}{día} = 143{,}14\,\frac{kg\ filtrado}{día}$$

Para la precipitación de las pectinas se adiciona etanol al 96% en una relación 1:1 volumétrica, es decir, que a los 215,82 litros de filtrado es adicionada la misma cantidad de etanol. (densidad del etanol al 96% es de 0,797 kg/L [69]).

$$215{,}82\,\frac{L\ etanol}{día} * \frac{0{,}797\ kg}{1L} = 172{,}01\,\frac{kg\ etanol}{día}$$

$$143{,}14\,\frac{kg\ filtrado}{día} + 172{,}01\,\frac{kg\ etanol}{día} = 315{,}15\,\frac{kg}{día}$$

Previo al secado se realiza una última filtración con el fin de obtener la pectina de forma húmeda, en el laboratorio donde por cada 1,6 L de filtrado se obtenían 45,10 g de pectina de pulpa de café.

$$315{,}15\,\frac{kg}{día} * \frac{1L}{0{,}66kg} = 477{,}50\,\frac{L}{día}$$

$$477{,}50\,\frac{L}{día} * \frac{0{,}04510\ kg\ pectina}{1{,}6L} = 13{,}46\,\frac{kg\ pectina}{día}$$

$$315{,}15\,\frac{kg\ entrada}{día} - 13{,}46\,\frac{kg\ pectina}{día} = 301{,}69\,\frac{kg}{día}$$

Una vez la pectina se encuentra seca se procede a pesar obteniendo alrededor de 203,98 g de pectina en 15 extracciones cada una de 2000 mL.

$$606{,}06\,\frac{L\ pulpa\ café}{día} * \frac{203{,}98g\ pectina}{30L} * \frac{1kg}{1000g} = 4{,}12\,\frac{kg\ pectina}{día}$$

Finalmente, para la etapa de la molienda se estableció un porcentaje en el cual solo logra pasar el 80% del material mientras que el restante se queda en el equipo, esto según el estudio "*reducción de tamaño molienda*" [117]; al obtener la pectina de la pulpa de café

el siguiente paso será la formulación de la solución formadora de la biopelícula en el proceso de mezclado, basándose en el planteamiento mencionado en el apartado *2.4 Elaboración de las biopelículas*.

Nota: Para realizar las biopelículas de pectina combinada de ambas materias primas es necesario dividir el valor de la pectina en dos para obtener la formulación planteada.

$$3{,}30\,\frac{kg\ pectina}{día} * \frac{1000g}{1kg} = 3300\,\frac{g\ pectina}{día}$$

$$3300\ \frac{g\ pectina}{día} * \frac{150\ g\ sln\ formadora}{15\ g\ pectina} = 33000\,\frac{g\ sln\ formadora}{día}$$

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 33\ \frac{kg\ sln\ formadora}{día}$$

Teniendo los kilogramos de solución formadora a manejar en la planta piloto se puede calcular los kilogramos de cada compuesto de la siguiente manera si se desea una biopelícula sin almidón.

- Alcohol polivinílico

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{67{,}5\ g\ A.polivinilico}{150\ g\ sln\ formadora} = 14850\,\frac{g\ A.polivinilico}{día}$$

$$14850\,\frac{g\ A.polivinilico}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 14{,}85\,\frac{kg\ A.polivinilico}{día}$$

- Benzoato de sodio

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{15\ g\ B.sodio}{150\ g\ sln\ formadora} = 3300\,\frac{g\ B.sodio}{día}$$

$$3300\,\frac{g\ B.sodio}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 3{,}30\,\frac{kg\ B.sodio}{día}$$

- Glicerol

$$33000\,\frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{52{,}5\ g\ Glicerol}{150\ g\ sln\ formadora} = 11550\,\frac{g\ Glicerol}{día}$$

$$11550\frac{g\ Glicerol}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 11{,}55\frac{kg\ Glicerol}{día}$$

Si a la biopelícula se le desea agregar almidón, se mantienen las cantidades calculadas anteriormente para la pectina y el benzoato de sodio, los demás compuestos se calcularán de la siguiente manera:

- Alcohol polivinílico

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{60\ g\ A.polivinilico}{150\ g\ sln\ formadora} = 13200\frac{g\ A.polivinilico}{día}$$

$$13200\frac{g\ A.polivinilico}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 13{,}20\frac{kg\ A.polivinilico}{día}$$

- Glicerol

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{45\ g\ Glicerol}{150\ g\ sln\ formadora} = 9900\frac{g\ Glicerol}{día}$$

$$9900\frac{g\ Glicerol}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 9{,}90\frac{kg\ Glicerol}{día}$$

- Almidón

$$33000\ \frac{g\ sln\ formadora}{día} * \frac{15\ g\ Almidón}{150\ g\ sln\ formadora} = 3300\frac{g\ Almidón}{día}$$

$$3300\frac{g\ Almidón}{día} * \frac{1kg}{1000g} = 3{,}30\frac{kg\ Almidón}{día}$$

Para finalizar el proceso de la fabricación de las biopelículas se presenta el método del casting continuo, el cual se hará por medio de una cinta trasportadora de tipo paletas, esta cuenta con un ancho de banda alrededor de 340 mm y con paletas de goma de 55 mm de alto [70], de acuerdo con esta revisión bibliográfica se considera necesario ajustar las velocidades de la banda con el fin de adecuar el correcto espesor de las biopelículas (6 mm). Seguido a esto, se relacionan los cálculos finales.

$$340\ mm * 6\ mm = 2040\ mm^2$$

$$2040\ mm^2 * \frac{1m^2}{(1000mm)^2} = 0{,}00204\ m^2$$

$$33\frac{L\ sln\ formadora}{día} * \frac{1m^3}{1000\ L} = 0{,}033\frac{m^3 sln\ formadora}{día}$$

$$\frac{0{,}033\frac{m^3 sln\ formadora}{día}}{0{,}00204\ m^2} = 16{,}18\frac{m\ sln\ formadora}{día}$$

Mediante información consultada sobre rangos de velocidades comunes de bandas transportadoras se puede clasificar la velocidad a utilizar entre 1,0 m/s a 2,5 m/s debido a el tipo de materia prima que se está utilizando [72].

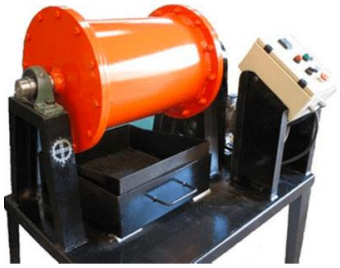
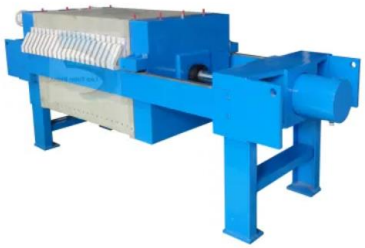
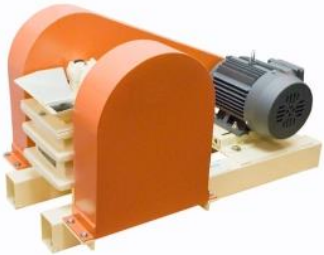
5.4 Especificaciones de equipos

En la tabla No.38, se evidencian las especificaciones de los equipos junto con las condiciones de operación que se deben mantener durante el proceso considerando un sobredimensionamiento en cada uno.

Tabla 38.

Especificaciones de equipos

Equipo	imagen	Especificaciones
Tanque abierto		El tanque contará con un volumen alrededor de 1 m^3, con un material de acero inoxidable 304, allí se llevará acabo el lavado de la materia prima, funcionando a una temperatura aproximada de 15 °C [73].
Tanque abierto con agitación		Tiene una capacidad de 1 m^3, este tipo de tanque, creado para la mezcla de fluidos a diferentes viscosidades y temperaturas, con un espesor de pared entre 8 - 10 mm, está diseñado con una camisa o serpentín tanto interior como exterior para su calentamiento [74].

Tanque cerrado		Este tanque está diseñado para almacenar diversos productos líquidos, cuenta con una capacidad de hasta 1 m^3 y un espesor de 5 mm además posee una chaqueta, pues maneja una temperatura alrededor de 40 °C durante el tiempo del proceso a llevar a cabo [75].
Molino de bolas		Cuenta con una capacidad de 10 a 20 kg/h, siguiendo el principio de más trituración menos molienda para ahorrar energía con un tamaño de 1 ft por 2ft [76].
Filtro prensa		Este filtro tiene una capacidad filtrante a presión de 0,6 a 2 MPa con un número máximo de placas entre 5 – 30, la alta sequedad de las tortas permite gestionar los desechos como solidos, junto con un tamaño de placas de 370 mm [77].
Triturador		Los trituradores industriales se encargan de reducir el volumen de los residuos sólidos que ingresan, esta cuenta con rotores para el procesamiento de desechos orgánicos entre otros, con una granulometría total de 6,4 mm [78].

Banda transportadora de tipo paletas		Esta banda trasportadora es ideal para carga; su banda es de 340 mm de ancho con paletas de 55 mm de alto [70], lo que la hace apta para realizar el correcto moldeo de las biopelículas.
Secador de bandejas		El secador de bandejas consiste en un túnel con varias bandejas donde se coloca el producto a secar, cuenta con un ventilador axial para introducir el aire necesario para secar el producto, fabricado en acero inoxidable con unas dimensiones de 570 mm de ancho y 790 mm de alto [79].
Tanque de almacenamiento		Construido en acero inoxidable 304 o 316, con capacidades 1 m^3 a 3 m^3, ideal para almacenar sustancias químicas que deben cumplir grandes estándares de calidad y a su vez evitar corrosión aguantar un alto estrés térmico y radiación UV, además de eso tiene un grosor de pared entre los 4 y 10 mm [80].

Nota. se presenta una tabla donde se mencionan los equipos a emplear junto con sus especificaciones y condiciones.

6. CONCLUSIONES

Partiendo de las revisiones bibliográficas se logró determinar las variables más predominantes en el proceso de extracción de la pectina, tanto de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) como de la pulpa de café (*C. arábica*) y de esta manera realizar el diseño de experimentos basándose en el pH, la temperatura y el tiempo de residencia, impactando el rendimiento y la calidad del producto final.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*) logrando obtener resultados en cenizas de 3,98% y 7,91% respectivamente durante un tiempo estimado de 3 horas a una temperatura de 600°C, valores aceptables según indica el estudio elaborado por la Ingeniera C. Peña, reportando valores de porcentaje de cenizas para frutas y hortalizas cerca del 2% al 12%.

El método de extracción de pectinas en la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*) se efectuó de manera correcta haciendo uso de la hidrólisis ácida con una disolución de ácido clorhídrico a condiciones de temperatura de 80 °C, pH 2,3 y durante un tiempo de 20 minutos, obteniendo el mayor rendimiento para ambas materias primas, siendo de 5,16% para la cáscara de naranja y de 1,28% para la pulpa de café.

Mediante pruebas ejecutadas de tipo fisicoquímicas a las pectinas obtenidas se logró realizar una caracterización de estas, donde para las pectinas extraídas de la cáscara de naranja se presentaron resultados de 5627,71 mg/mEq de peso equivalente, 0,18 mEq/g de acidez libre, 25,19% de metoxilo presente, 5,66% de humedad, 97,82% en grado de esterificación y 34,84% de contenido de ácido galacturónico, resultados óptimos en comparación a los registrados en el artículo *"Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R"* los cuales son 2201,83 mg/mEq de peso equivalente, 0,46 mEq/g de acidez libre, 3,36% de metoxilo, 70,49% de grado de esterificación y 87,84% en contenido de ácido galacturónico clasificándose como pectinas de bajo metoxilo, gelificación lenta y mayor grado de pureza; para las pectinas extraídas de la pulpa de café se obtuvieron resultados de 10650 mg/mEq de peso equivalente, 0,10 mEq/g de acidez libre, 25,18% de metoxilo presente, 4,63% de humedad, 98,84% en grado de esterificación y 35,03% de contenido de ácido galacturónico, resultados aceptables en

comparación a los registrados en la investigación *“Desarrollo de películas biodegradables a base de pectinas extraídas de los subproductos el beneficio del café por hidrólisis acida”* los cuales son 647,57 mg/mEq de peso equivalente, 1,54 mEq/g de acidez libre, 4,85% de metoxilo, 72,74% de grado de esterificación, clasificándose como pectinas de bajo metoxilo y de gelificación lenta. Los resultados obtenidos en el presente trabajo, las clasifican como pectinas de alto metoxilo y gelificación rápida, donde en un tiempo aproximado de cinco minutos o menos se obtendrá un gel, solubles en agua, presentando también mayor viscosidad y baja pureza. Estas características fisicoquímicas de las pectinas extraídas son importantes pues influyen de manera directa en la fabricación de las biopelículas, ya que al ser elaboradas con estas condiciones presentaron alta impermeabilidad, mayor elasticidad y menor dureza.

Se obtuvieron biopelículas a partir de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*) mediante el método de casting, evaluando las propiedades mecánicas de cada una y seleccionando la más apta la cual fue la biopelícula fabricada con la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y almidón, ya que presento resultados de 40,50 para dureza shore A que la clasifica como un material medio suave, 0,44 MPa en resistencia a la tensión basada en la norma ASTM D412 y 4% de permeabilidad. Estos valores obtenidos la vuelven una posible sustituta del neopreno para la fabricación de equipos de protección industrial, protección de máquinas industriales, entre otros, además de evitar el daño al medio ambiente, ya que esta biopelícula no es derivada del petróleo como lo es el elastómero mencionado.

Al llevar a cabo el diseño de la planta piloto para la producción de biopelículas fabricadas a partir de la pectina extraída de la cáscara de naranja (*C. sinensis*) y la pulpa de café (*C. arábica*), se describieron las condiciones y especificaciones técnicas del proceso en los diagramas de bloques y de proceso elaborados donde se contempló el balance de masa para ambas materias primas, obteniendo 1975,69 y 2329,62 de metros de solución formadora/día para la biopelícula de cáscara de naranja y la pulpa de café, respectivamente, contando con tanques, filtros, secador, triturador, entre otros. Sumado a esto se tuvo en cuenta un sobredimensionamiento en los equipos para evitar posibles desbordamientos de las sustancias/mezclas durante el proceso.

BIBLIOGRAFIA

[1] Amobonye,A. et al, (March 10,2021)."Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes." Science of the Total Environment.Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720370674. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143536.

[2] Todo lo que necesitas saber sobre los bioplásticos(-11-16T09:16:55Z). Available: https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/11/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-bioplasticos.

[3] Ceron-Salazar,I. and C. Cardona-Alzate, (Jan 1,2011)."Evaluacion del proceso integral para la obtencion de aceite esencial y pectina a partir de cascara de naranja." Ingeniería Y Ciencia (Medellín, Colombia).Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&tlng=en.

[4] Fernández-Cortés,Y., K. D. Sotto-Rodríguez and L. A. Vargas-Marín, (Aug 27,2020)."Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados." Producción + Limpia.Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552020000100093&lng=en&tlng=en. DOI: 10.22507/pml.v15n1a7.

[5] Muñoz, A. (2016). “Caracterización de pectinas industriales de cítricos y su aplicación como recubrimientos de fresas”. Universidad Autónoma de Madrid. Available: https://digital.csic.es/bitstream/10261/176559/1/LabradorTFMpectinasfresas.pdf

[6] Ferreira, S. (2007). “Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial”. Universidad Nacional de Colombia. Available: http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivos_Libros/Libros_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf

[7] Calvo, M. Bioquímica de los alimentos: Pectinas. Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html

[8] Cómo la hidrólisis enzimática puede ser una gran aliada para la nutrición animal (). . Available: https://www.brfingredients.com/es/blog/posts/como-la-hidrolisis-enzimatica-puede-ser-una-gran-aliada-para-la-nutricion-animal/.

[9] Introducción a la hidrolisis. Available: https://www.waters.com/nextgen/xg/es/education/primers/comprehensive-guide-to-hydrolysis-and-analysis-of-amino-acids/introduction-to-hydrolysis.html

[10] Cabarcas, E. et al, (2012). “Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción”. Universidad de Cartagena. Available: https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/109/Trabajo%20de%20grado-Extraccion%20y%20caracterizacion%20de%20pectina%20apartir%20de%20cascaras%20de%20platano%20para%20desarrollar%20un%20dise%C3%B1o%20genera~1.pdf?sequence=1&isAllowed

[11] Orozco, K. and S. Villa, (2021). “Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica”. Universidad de América. Available: http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8689/1/6161721-2021-2-IQ.pdf

[12] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). “Cadena de cítricos”. Available: https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

[13] Miranda, D. et al, (2020). “Naranja Citrus Sinensis”. Available: http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/14-manual-naranja-2020-EBOOK.pdf

[14] Graham, H. (2020). “Citrus Sinensis”. ScienceDirect. Available: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/citrus-sinensis

[15] Naranja Citrus Sinensis. ProColombia. Available: https://b2bmarketplace.procolombia.co/es/agricola/naranja-citrus-sinensis.-17787

[16] Ramos-Alvarado,M. M. et al, (/12/302020)."Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (Citrus sinensis): Caracterización física, química y estructural." Agroind. Sci.Available: https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3227. DOI: 10.17268/agroind.sci.2020.03.08.

[17] Pinzón, M. et al, (2008). “Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente”. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas: Bistua. Available: https://www.redalyc.org/pdf/903/90312176003.pdf

[18] Ceron-Salazar,I. and C. Cardona-Alzate, (Jan 1,2011)."Evaluacion del proceso integral para la obtencion de aceite esencial y pectina a partir de cascara de naranja." Ingeniería Y Ciencia (Medellín, Colombia). Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&tlng=en.

[19] Caracterización de la naranja. Available: http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20829/Capitulo4.pdf

[20] Café arábica. Available: https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/mejor-con-cafe-arabica

[21] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). “Cadena café”. Available: https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

[22] Fierro,N. and V. Morales-Ramos, (July 7,2018)."Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (Coffea arabica L.)." .

[23] Días, A. (2011). “Pulpa de café: Coffea arabica como fuente alternativa de antioxidantes”. Universidad Técnica Particular de Loja. Available: https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/707/3/UTPL_D%C3%ADas_Curay_Alejandra_Tatiana_1064344.pdf

[24] Composición química del fruto de café - Café arábigo (). Available: https://1library.co/article/composici%C3%B3n-qu%C3%ADmica-del-fruto-de-caf%C3%A9-caf%C3%A9-ar%C3%A1bigo.yev0981z.

[25] "¿Qué son los Residuos orgánicos? ¿Cómo tratarlos?" (2019). Available: https://www.voltachile.cl/residuos-organicos/.

[26] Residuos Orgánicos. Available: https://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos

[27] Chiriví, N. and G. Palencia. (2019). “Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula utilizando pectina extraída enzimáticamente de la cáscara de naranja valenciana”. Universidad de América. Available: https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7625/1/6141295-2019-2-IQ.pdf

[28] Alata, E. et al, (2019). “Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana”. Available: http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n2/a10v85n2.pdf?fbclid=IwAR1d03-ZmfrxfTw-

[29] Prueba de tensión (material). Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/Prueba_de_tensi%C3%B3n_%28material%29.html#:~:text=Se%20denomina%20prueba%20de%20tensi%C3%B3n,L%C3%ADmite%20el%C3%A1stico

[30] *ensayo de traccion*(). . Available: https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html.

[31] ¿Qué es la dureza Shore? -(). . Available: https://recreus.com/es/noticias/aprende-con-recreus/que-es-la-dureza-shore-.

[32] Delgado, N. “Permeabilidad”. Available: https://www.tecnomaq.com.mx/index.php/articulos/22-la-permeabilidad

[33] Sundararaman,S., (-04-082013)."Material Wear Evaluation using Temperature Controlled Wear Testing." SAE Int. J. Mater. Manf.Available:

https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-01-1218/. DOI: 10.4271/2013-01-1218.

[34] What does Biodegradable Mean? An Easy 5 Minute Guide - The Roundup (-01-31T17:24:13+00:00). Available: https://theroundup.org/what-does-biodegradable-mean/.

[35] La importancia del neopreno en la industria. (01/02/2023). Productos técnicos. Available: https://www.eymproductostecnicos.com/el-neopreno-un-aliado-para-la-industria

[36] "Conoce más del Neopreno y sus aplicaciones en la industria," 2019. Available: https://www.cauchosmalaca.com/neopreno-y-aplicaciones/.

[37] "Policloropreno (Neopreno) | Tecnología de los Plásticos," 2011. Available: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/policloropreno-neopreno.html.

[38] Neopreno. Química.es. Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/Neopreno.html

[39] Ignorancia climática (). Available: https://www.larepublica.co/analisis/javier-villamizar-500031/ignorancia-climatica-3604601.

[40] Determinación del contenido de humedad (). Available: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/moisture-content-determination.html.

[41] Determinación de cenizas: métodos y ejemplos (-02-11T07:10:09+01:00). Available: https://www.lifeder.com/determinacion-de-cenizas/.

[42] Importancia de la determinación de cenizas La cantidad de cenizas representa el | Course Hero (). Available: https://www.coursehero.com/file/pvb7su/Importancia-de-la-determinaci%C3%B3n-de-cenizas-La-cantidad-de-cenizas-representa-el/.

[43] Guerra, M. and D. Rueda. (2021), “Producción de una biopelícula a partir de las pectinas extraídas del mucílago de café”. Universidad de América. Available:

https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8646/1/6152708-2021-2-IQ.pdf

[44] Ramos-Alvarado,M. et al, (December 30,2020)."Biofilms based on pectin from orange peel (Citrus sinensis): Physical, chemical and structural characterization." Agroindustrial Science. DOI: 10.17268/agroind.sci.2020.03.08.

[45] Lini, F. et al, (2013). “Biofilms Composed of Alginate and Pectin: Effect of Concentration of Crosslinker and Plasticizer Agents”. ResearchGate. Available: https://www.researchgate.net/profile/Renata-Souza/publication/278113053_Biofilms_Composed_of_Alginate_and_Pectin_Effect_of_Concentration_of_Crosslinker_and_Plasticizer_Agents/links/5f26f180a6fdccc43a60425/Biofilms-Composed-of-Alginate-and-Pectin-Effect-of-Concentration-of-Crosslinker-and-Plasticizer-Agents.pdf

[46] Posada, E. (2019). “Evaluación de la incidencia del método de extracción en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de pectina obtenida de la cascara de curuba (*passiflora mollisima*).” Universidad de La Salle. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1269&context=ing_alimentos

[47] Mendoza, L. Jiménez, F. Ramírez, M. (2017). “Evaluacion de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cascaras del fruto del cacao (*Theobroma cacao L.*)”. Universidad de los Llanos. Available: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a15.pdf

[48] Akiyama, R. and Maranho, L. (2016). “Phytoremediation of petroleum hydrocarbons-contaminated soil using Desmodium incanum DC., Fabaceae”. Revista latinoamericana de biotecnologia ambiental y algal. Available: http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/1

[49] Matute, T. (2019). “Evaluacion de la pectina extraída de la cascara de la chirimoya (Annona cherimola), determinando su capacidad de modificador reológico”. Universidad Politecnica Salesiana. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18451/1/UPS-CT008702.pdf

[50] Chasquibol, N. Arroyo, E. Morales, J. (2008). “Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana”. Universidad de Lima. Available: https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428492010.pdf

[51] DIN 53505 Caucho y elastómeros - Prueba de dureza Shore A y Shore D(). . Available: https://www.laboratuar.com/es/.

[52] "ASTM D412," Available: https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/astm-d412/.

[53] "Deformaciones elásticas y plásticas, y su relación con los anclajes," 2018. Available: https://desdeelmurete.com/deformaciones-elasticas-y-plasticas-y-su-relacion-con-los-anclajes/.

[54] Coreño, J. and Méndez, M. (2010). “Relationship between structure and properties of polymers”. ScienceDirect. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300983#:~:text=En%20los%20pol%C3%ADmeros%20con%20tendencia,secciones%20desordenadas%20forman%20regiones%20amorfas

[55] Zamudio, G. (2014). “Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia”. Universidad del Valle. Available: https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/17676/0519674.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[56] Escobar, J. (2020). “Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón”. Universidad Autónoma del Estado de Mexico. Available: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109321/TESIS.pdf?sequence=1&is

[57] Neopreno: propiedades físicas y dimensiones | Fabricante de botas de pesca de neopreno | Voll Will (). Available: https://www.neoprene.com.tw/es/category/Neopreno-propiedades-fsicas-y-dimensiones/A0101.html.

[58] Merefsa - Meet Your Silicone | Merefsa | Utilidades: Tabla de relación de durezas (conversión) (). Available: https://www.merefsa.com.

[59] "Escala de dureza shore: todo lo que necesitas saber," 2023. Available: https://3dalia.com/escala-de-dureza-shore/.

[60] Hojas de Uretano – Baja Dureza. Misumi. Available: https://mx.misumi-ec.com/es/vona2/detail/110300278970/

[61] "Neopreno (CR) - Cauchos y elastómeros - Elaplas," Available: https://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/neopreno-cr/.

[62] "¿Qué es el neopreno y para qué sirve?" 2022. Available: https://www.kpnsafety.com/que-es-neopreno-para-que-sirve/.

[63] Permeabilidad. Available: https://www.coaatcaceres.es/FTP/NORMATIVA/02%20NACIONAL/02%2002%20B%C3%81SICA%20CONSTRUCTIVA/02%2002%2002%20CTE/02%2002%2002%2001%20DB-SE%20Seguridad%20Estructural/2007%20PERMEABILIDAD%20DE%20SUELOS.pdf

[64] Permeabilidad (). Available: https://www.mexpolimeros.com/permeabilidad.html.

[65] "Producción de café de Colombia cerró el 2019 en 14,8 millones de sacos," Available: https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cerro-el-2019-en-148-millones-de-sacos/.

[66] La rentabilidad detrás de la naranja Valencia en los cultivos de Antioquia (). Available: https://www.agronegocios.co/agricultura/la-rentabilidad-detras-de-la-naranja-valencia-en-los-cultivos-de-antioquia-2882705.

[67] López, V. (2014). “Fortificación de cáscara de naranja (C. sinensis var Valencia) por impregnación con miel”. Universidad Veracruzana. Available: https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46746/LopezHernandezVeronica.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[68] Acido clorhidrico 37%. Quality Chemicals. Available: https://qualitychemicals.com/documents/document.php?doc=ficha&lang=E&cprod=026712&cliente=0&genpdf=1&clote=0

[69] Alcohol etilico 96%. Quimipur. Available: http://quimipur.com/productos/productos-quimicos/alcohol-etilico-96#:~:text=Informaci%C3%B3n%20del%20producto&text=Densidad%20a%2020%C2%BAC%3A%200%2C797%20g,Punto%20de%20ebullici%C3%B3n%3A%2079%20%C2%BAC

[70] Cinta Transportadora Modelo JP350 Doble Proposito(). . Available: https://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=238326.

[71] Muñoz, D. and Noguera, M. (2016). “Evaluación de las propiedades físicas y factores de conversión de café variedad castillo y colombia (coffea arabica l.) durante el proceso de beneficio y trilla, a diferentes alturas sobre el nivel del mar en fincas cafeteras del municipio de colon, departamento de nariño”. universidad nacional abierta unad. Available:https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12141/1085660084.pdf?sequence=1

[72] ¿Cómo calcular la velocidad lineal de una cinta transportadora? (-03-12T17:31:04.161Z). Available: https://www.spinozziargentina.com/post/cómo-calcular-la-velocidad-lineal-de-una-cinta-transportadora.

[73] "Landing Tanques," Available: https://gtspumps.com/landing-tanques/.

[74] Depósitos con agitador (). Available: https://www.intranox.com/depositos-de-acero-inoxidable/agitador.

[75] Tanque vertical de acero vol.700 cbm (tva-700). EuroTankWorks. Available: https://tanque-silo.es/tanques-de-almacenaje/vertical-tanques/tanque-vertical-700/

[76] Anonymous "Molino para Planta Piloto de 10 a 150 kg/h," Available: https://www.911metallurgist.com/metalurgia/molino-para-planta-piloto/.

[77] Draco® FPSA - Filtro-prensa semiautomática by toro equipment | DirectIndustry(). . Available: https://www.directindustry.es/prod/toro-equipment/product-102939-1493441.html.

[78] "Trituradora-reciclaje," Available: http://www.gruenn.com.co/web/trituradoras-de-2-rotores/.

[79] Secador de Bandejas, Controlado desde Computador (PC) | EDIBON ® (). Available: https://www.edibon.com/es/secador-de-bandejas-controlado-desde-computador-pc.

[80] Tanques de almacenamiento de productos quimicos (). Available: https://www.intranox.com/tanques-de-almacenamiento/tanques-de-almacenamiento-de-productos-quimicos.

[81] Acido galacturónico. Química.es. Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%81cido_galactur%C3%B3nico.html

[82] "Alcohol Polivinílico - PVA - Usos y Propiedades," Available: https://www.alquera.com/alcohol-polivinilico/usos-alcohol-polivinilico/.

[83] Sanchez, J. ¿Qué es el almidón? Inecol. Available: https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1376-que-es-el-almidon

[84] Sodium Benzoate: Uses, Dangers, and Safety (-01-21T08:00:00.000Z). Available: https://www.healthline.com/nutrition/sodium-benzoate.

[85] Biodegradabilidad. (2016). ScienceDirect. Available: https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/biodegradability

[86] *What are bioplastics?* (). Available: https://www.activesustainability.com/environment/what-are-bioplastics/.

[87] What Is the Carboxyl Group in Chemistry? (). Available: https://www.thoughtco.com/definition-of-carboxyl-group-and-examples-604879.

[88] Casting Process. (2014). ScienceDirect. Available: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/casting-process

[89] Introducción al diseño de experimentos. Available: https://halweb.uc3m.es/esp/personal/personas/jmmarin/esp/disenno/introde.pdf

[90] Dureza. Quimica.es. Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/Dureza.html

[91] Elastomers: Definition, Examples, Properties, Types, Applications (). Available: https://byjus.com/physics/elastomers/.

[92] Elongation: Definition, How to Calculate, and Importance (). Available: https://www.xometry.com/resources/3d-printing/elongation/.

[93] Esterification (Alcohol & Carboxylic acid) - Reactions Mechanism & Uses with Videos (). Available: https://byjus.com/chemistry/esterification/.

[94] "What is Filtration: Definition, Process, Methods, Uses and Examples," 2021. Available: https://www.toppr.com/guides/chemistry/is-matter-around-us-pure/filtration/.

[95] "La gelificación, en teoría | Scoolinary Blog," 2021. Available: https://blog.scoolinary.com/la-gelificacion-toda-la-teoria/.

[96] Lafuente, G. (2017). “Glicerol: Síntesis y aplicaciones”. universidad nacional de educación a distancia. Available: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf

[97] "Hidrólisis - Concepto, proceso y tipos," Available: https://concepto.de/hidrolisis/.

[98] Metoxilo. Química.es. Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/Metoxilo.html

[99] "Pectina," Available: https://gastronomiaycia.republica.com/2009/03/18/pectina/.

[100] Plastificante. GreenFacts. Available: https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/plastificante.htm

[101] Qué es un Polímero (). Available: https://www.significados.com/polimero/.

[102] Definción de Polisacáridos (). Available: https://www.definicionabc.com/ciencia/polisacaridos.php.

[103] Precipitación. Available: https://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/precipitacio_fonament.html#:~:text=La%20precipitaci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,cambio%20de%20polaridad%20del%20disolvente.

[104] "¿Qué es la ramnosa? - Spiegato," 2021. Available: https://spiegato.com/es/que-es-la-ramnosa.

[105] Qué es el rendimiento financiero, productivo y laboral (-12-24T09:00:00+00:00). Available: https://blog.lemontech.com/que-es-el-rendimiento/.

[106] Solubilidad - Definicion.de (). Available: https://definicion.de/solubilidad/.

[107] Tensión. Enciclopedia. Available: https://enciclopedia.net/tension/

[108] Chipatecua,y. F. S., "Cenizas y humedad." Available: https://www.academia.edu/8817362/Cenizas_y_humedad.

[109] Fierro, N. *et al.* “Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (Coffea arábica L.)”, *Agroproductividad*, Vol. 11, pp. 9-13, 2018.

[110] T. C. Ramírez-Gavidia, N. M. González-Colmenares, y E. K. Guerrero-Pernía, «Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R.», *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, vol. 8, n.º 2, pp. 84-91, may 2020.

[111] Vallejos, M. (2022). “Desarrollo de películas biodegradables a base de pectinas extraídas de los subproductos del beneficio del café por hidrolisis acida”. Universidad Nacional de Colombia. Available: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83227/1124857659.2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[112] Aristizábal, G. “Caracterización de frutas y hortalizas en Colombia”. Available: https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/9/C%C3%ADtricos.pdf

[113] Marín, S. et al. (2003). “Escala de maduración para los frutos del cafeto (Coffea arábica L.)”. Cenicafé. Available: https://library.sweetmarias.com/wp-content/uploads/2020/08/Cherry-Maturation-Doc.pdf

[114] Brown, C. (2021). “Diferencia entre hidrolisis acida e hidrolisis enzimática”. Available: https://es.strephonsays.com/acid-hydrolysis-and-enzymatic-hydrolysis-6929

[115] Trituracion y molienda. Available: https://ucatedraivan.files.wordpress.com/2020/03/trituracic3b3n-y-molienda.pdf

[116] Pérez, F. (2016). *“Escalado de una torre de absorción”*. Universidad de Sevilla. Available: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/48894/772.pdf?sequence=1

[117] Reducción de tamaño molienda. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5547/mod_resource/content/1/Tema_4_-_Molienda_I_.pdf

[108] Borke, J. 2023. “Intoxicación con ácido clorhidrico”. Metline Plus. Available: https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002498.htm#:~:text=El%20%C3%A1cido%20clorh%C3%ADdrico%20es%20un,%2C%20como%20quemaduras%2C%20al%20contacto.

[119] Ácido clorhidrico. Available: https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/3hshcl.pdf

[120] Etanol. (2007). T Química. Available: https://www.sspa.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/hrs3/fileadmin/user_upload/area_servicios_generales/prevencion_riesgoslaborales/fichas_seguridad/etanol.pdf

[121] Ethanol (2012). Available: https://sites.chemengr.ucsb.edu/~ceweb/faculty/scott/Chemical%20SOPs/Ethanol.pdf

[122] Amorfo. Available: https://www.plasma.com/es/glosario-de-tecnologia-del-plasma/amorfo/

[123] Cerón-Salazar,I. and C. Cardona-Alzate, (06/2011)."Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja." Ingeniería Y Ciencia.Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

[124] Torres-Valenzuela,L. S*. et al,* (03/2019)."Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas." Información Tecnológica.Available: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642019000200189&lng=es&nrm=iso&tlng=es. DOI: 10.4067/S0718-07642019000200189.

[125] De la Cruz Tobón Arroyave,N., A. F. Cerón Cárdenas and L. F. Garcés Giraldo, (07/2015)."Análisis y modelamiento de la granulometría en la cáscara del café (Coffea arabica L.) variedad Castillo." Producción + Limpia.Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552015000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

[126] The Definitive Guide to ASTM D412 Tensile Testing of Elastomers (). Available: https://www.instron.com/en-us/testing-solutions/astm-standards/astm-d412.

[127] DIN 53505(). Available: https://www.mexpolimeros.com/lab/din%2053505.html#google_vignette

[128] Correa, C*. et al,* “Geles de pectina de bajo metoxilo modificados enzimáticamente”. Revista de la sociedad química de México. Available: https://www.redalyc.org/pdf/475/47543203.pdf

[129] Calvo, M. "Bioquimica de los alimentos" Available: http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html#:~:text=En%20particular%2C%20a%20mayor%20grado,temperaturas%20por%20debajo%20de%2085%C2%BAC.

[130] Policloruro de vinilo. Available: http://www1.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/PVC/POLICLORURO%20DE%20VINILO.htm

GLOSARIO

Acido galacturónico: el ácido D-galacturónico es un monosacárido de 6 átomos de carbono, siendo el componente más importante de las pectinas [81].

Alcohol Polivinílico: es un polímero sintético el cual es soluble en agua, también conocido como PVA, inodoro de color blanco y a su vez es un remedio para la madera [82].

Almidón: el almidón es un producto que proviene de diferentes plantas representando el material que puede ser alimenticio como una reserva de estas, compuesto de cadenas de varios azucares o glucosa, con diferentes usos industriales y caseros [83].

Benzoato de sodio: es un aditivo o conservante que se agrega a diferentes bebidas, envasados, productos de cuidado personal, entre otros para prolongar su tiempo de vida útil [84].

Biodegradabilidad: hace referencia a la capacidad de un material de descomponerse después de interactuar con el medio ambiente y sus medios biológicos [85].

Bioplásticos: son materiales biodegradables que se crean de fuentes renovables que se utilizan para disminuir varios problemas ambientales de la actualidad como la perdida de fauna y flora [86].

Carboxilos: los carboxilos pertenecen al grupo carboxilo el cual es un funcional orgánico; presentando un enlace simple a un hidroxilo y un átomo de oxígeno unido a un enlace doble [87].

Casting: es un proceso el cual se logra mediante la fundición de un material para volverlo en estado líquido y verterlo en una cavidad de molde con la forma requerida o deseada [88].

Diseño de experimentos: son modelos estilísticos que tienen el fin de determinar si unos factores determinados influyen directamente sobre una variable de interés [89].

Dureza: la dureza es una propiedad mecánica que hace referencia a la dificultad que tiene para rayar, generar marcas en una superficie, o de ser penetrado por algún tipo de indentador [90].

Elastómeros: son polímeros que tiene viscoelasticidad (viscosidad y elasticidad) sus moléculas están unidad por fuerzas intermoleculares débiles, teniendo una propiedad de recuperar su forma original [91].

Elongación: la elongación es la predisposición medible de un material cuando es sometido a una fuerza (tensión), así como también es la medida de que tan dúctil puede ser un material [92].

Esterificación: es la combinación de un alcohol con un ácido orgánico con el fin de crear un éster y agua [93].

Filtración: la filtración es un proceso u operación física en el que se separan mediante un medio filtrante las partículas sólidas y los fluidos en una mezcla, puede ser biológica o química [94].

Gelificación: proceso donde se convierte una solución más o menos liquida en un gel, obteniendo dos fases una continua (solida) y dispersa (liquida) [95].

Glicerol: también conocido comercialmente como glicerina, posee tres grupos hidroxilos (-OH) lo que lo hace ser higroscópico y soluble en agua, a temperatura ambiente es líquido, viscoso e incoloro [96].

Hidrólisis: es una reacción química en donde moléculas de agua se dividen en sus átomos componentes (hidrogeno y oxigeno), formando enlaces químicos con la sustancia que está reaccionando con el agua [97].

Metoxilo: en química orgánica hace referencia a un grupo funcional o radical consistente en un grupo metilo unido a un oxígeno [98].

Pectina: es un polisacárido de ácido poligalacturónico, que se encuentra principalmente en la pared celular de frutas y verduras, posee la propiedad de espesar, gelificar, estabilizar alimentos/bebidas y ser soluble en agua [99].

Plastificante: es una sustancia que cuando se le añade un material (generalmente un plástico) se obtiene como resultado un producto resistente, flexible y más sencillo de manejar [100].

Polímero: es una cadena de cinco o más monómeros (molécula de bajo peso molecular y estructura sencilla) iguales, son sintetizados naturalmente o de forma sintética mediante la polimerización [101].

Polisacáridos: son largas moléculas formadas por una larga serie de monosacáridos, es decir, carbohidratos/azucares unidos entre sí por medio de enlaces glucosídicos, pueden descomponerse a partir del proceso de hidrolisis [102].

Precipitación: es un proceso de obtención de solidos (precipitado) a partir de una disolución, se puede llevar a cabo por evaporación del disolvente, reacción química, bioquímica o enfriamiento de la disolución caliente [103].

Ramnosa: es un azúcar inusual que se encuentra mayormente en plantas y ciertas bacterias, forma un componente estructural esencial en las paredes celulares de las plantas [104].

Rendimientos: es todo aquel resultado, utilidad o beneficio que se obtiene de un proceso, es considerado como el fruto de un trabajo realizado [105].

Solubilidad: hace referencia a la capacidad de cierta sustancia para disolverse en otra y formar así un sistema homogéneo, la sustancia que se disuelve es conocida como soluto y en la cual esta se disuelve se conoce como disolvente [106].

Tensión: la tensión es un fenómeno físico que involucra a un objeto el cual es sometido a dos fuerzas contrarias, donde presentará algún daño o rompimiento [107].

ANEXOS

ANEXO 1.

BALANCES DE MASA

Figura 46.

Balance de masa para la biopelícula de pectina de cáscara de naranja (C. sinensis).

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Componente	C. naranja	C. naranja	C. naranja	dsl. HCl	Hidrólisis	Sln. filtrada	Residuos	Etanol	Precipitación	Pect. Húmeda	Etanol filtrado
Temperatura (°C)	15,00	14,00	15,50	16,00	80,00	60,00	55,00	15,00	40,00	15,00	15,00
Flujo total (kg/día)	370,00	370,00	370,00	1,11	237,32	95,11	370,00	88,89	279,11	10,01	78,88
Materia prima (Cáscara de naranja) (kg/día)	370,00	370,00	370,00	0,00	236,21	0,00	370,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Disolución de HCl (kg/día)	0,00	0,00	0,00	1,11	1,11	95,11	0,00	0,00	95,11	0,00	0,00
Agua (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etanol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,89	184,00	0,00	78,88
Pectina (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,01	0,00
Alcohol polivinilico (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzoato de sodio (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glicerol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Almidón (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Corriente	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Componente	Secado	Pect. Seca	Pectina	A. polivinilico	Bzt. Sodio	Glicerol	Almidón	Mezcla	Secado	Sln formadora
Temperatura (°C)	75,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	30,00	18,00	18,00
Flujo total (kg/día)	3,35	2,68	2,68	10,72	2,68	8,04	2,68	26,80	26,80	0,00
Materia prima (Cáscara de naranja) (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Disolución de HCl (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etanol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pectina (kg/día)	3,35	2,68	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	2,68	0,00
Alcohol polivinilico (kg/día)	0,00	0,00	0,00	10,72	0,00	0,00	0,00	10,72	10,72	0,00
Benzoato de sodio (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	0,00	2,68	2,68	0,00
Glicerol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,04	0,00	8,04	8,04	0,00
Almidón (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	2,68	2,68	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,14

Nota. En la anterior figura se puede observar el balance de masa correspondiente a la fabricación de la biopelícula de pectina de cáscara de naranja (*C. sinensis*).

Figura 47.

Balance de masa para la biopelícula de pectina de pulpa de café (C. arábica).

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Componente	P. café	P. café	P. café	dsl. HCl	Hidrólisis	Sln. filtrada	Residuos	Etanol	Precipitación	Pect. Húmeda	Etanol filtrado
Temperatura (°C)	15,00	14,00	15,50	16,00	80,00	60,00	55,00	15,00	40,00	15,00	15,00
Flujo total (kg/día)	400,00	400,00	400,00	1,58	267,77	143,14	266,19	172,01	315,15	13,46	158,55
Materia prima (Pulpa de café) (kg/día)	400,00	400,00	400,00	0,00	266,19	0,00	266,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Disolución de HCl (kg/día)	0,00	0,00	0,00	1,58	1,58	143,14	0,00	0,00	143,14	0,00	0,00
Agua (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etanol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	172,01	172,01	0,00	158,55
Pectina (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,46	0,00
Alcohol polivinilico (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzoato de sodio (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glicerol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Almidón (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Corriente	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Componente	Secado	Pect. Seca	Pectina	A. polivinilico	Bzt. Sodio	Glicerol	Almidón	Mezcla	Secado	Sln formadora
Temperatura (°C)	75,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	30,00	18,00	18,00
Flujo total (kg/día)	4,12	3,30	3,30	13,20	3,30	9,90	3,30	33,00	33,00	0,00
Materia prima (Pulpa de café) (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Disolución de HCl (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etanol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pectina (kg/día)	4,12	3,30	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	3,30	0,00
Alcohol polivinilico (kg/día)	0,00	0,00	0,00	13,20	0,00	0,00	0,00	13,20	13,20	0,00
Benzoato de sodio (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	3,30	3,30	0,00
Glicerol (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,90	0,00	9,90	9,90	0,00
Almidón (kg/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	3,30	3,30	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,18

Nota. En la anterior figura se puede observar el balance de masa correspondiente a la fabricación de la biopelícula de pectina de pulpa de café (*C. arábica*).

ANEXO 2.

INFORME PRUEBAS DE TENSIÓN

Figura 48.

Informe de las pruebas de tensión.

Palabra llave	Tensión	Nombre de metodo de ensayo	PruebasTension.xmas
Operador	Juan González & Paola Peralta	Fecha de informe	13/04/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	100mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	6	Nombre de producto	Biopeliculas fabricadas con pectina

Nombre	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension	Rotura_Deformacion	Max_Fuerza
Parametros	Nivel(%/Max) 100	Nivel(%/Max) 100	Nivel(%/Max) 100	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	%	N
1_1	127,165	0,66232	240,389	127,180
1_2	108,695	0,58438	160,839	108,735
1_3	107,606	0,57853	180,239	107,678
1_4	112,653	0,58673	192,505	112,796
Media	114,030	0,60299	193,493	114,097
Desviacion Estandar	9,02135	0,03970	33,8731	8,99652
Rango	19,5590	0,08379	79,5500	19,5020
2_1	142,034	0,73976	193,705	142,074
2_2	205,787	1,12452	395,539	205,835
2_3	180,165	0,98451	264,655	180,213
Media	175,995	0,94960	284,633	176,041
Desviacion Estandar	32,0804	0,19474	102,389	32,0846
Rango	63,7530	0,38476	201,834	63,7610
3_1	84,5512	0,37084	97,6886	84,6307
3_2	106,923	0,46896	155,355	106,963
3_3	69,9123	0,30265	103,139	69,9441
Media	87,1288	0,38082	118,728	87,1793
Desviacion Estandar	18,6395	0,08360	31,8372	18,6406
Rango	37,0107	0,16631	57,6664	37,0189
4_1	63,0935	0,32861	74,8053	63,1809
4_2	53,9382	0,28539	68,9553	54,0018
4_3	76,0635	0,40894	81,2887	76,1429
Media	64,3651	0,34098	75,0164	64,4419
Desviacion Estandar	11,1173	0,06270	6,16941	11,1243
Rango	22,1253	0,12355	12,3334	22,1411
5_1	257,007	1,33858	382,189	257,039
5_2	151,324	0,82691	224,305	151,420
5_3	153,701	0,76468	242,555	153,748
Media	187,344	0,97672	283,016	187,402
Desviacion Estandar	60,3416	0,31492	86,3694	60,3184
Rango	105,683	0,57390	157,884	105,619
6_1	96,1463	0,48559	118,122	96,1781
6_2	148,169	0,77171	288,872	148,185
6_3	141,970	0,73943	265,672	142,034
Media	128,762	0,66558	224,222	128,799
Desviacion Estandar	28,4154	0,15671	92,6146	28,4175
Rango	52,0227	0,28612	170,750	52,0069
TotalMedia	125,627	0,65016	196,359	125,683
TotalDesviacion Estandar	51,3443	0,28410	96,9267	51,3357
TotalRango	203,069	1,05319	326,584	203,037

Nota. La figura representa el informe de las pruebas de tensión para las biopelículas.

Figura 49.

Continuación del informe de las pruebas de tensión.

Nombre Parametros	Max. _Desplazamiento Calc. at Entire Areas	M.Elastico Fuerza 10 – 50 N	Pend_Standard Fuerza 10 – 50 N
Unidad	mm	N/mm2	N/mm
1_1	240,372	0,42120	0,80871
1_2	160,822	0,30178	0,56130
1_3	180,222	0,43965	0,81774
1_4	192,489	0,29504	0,56649
Media	193,476	0,36442	0,68856
Desviacion Estandar	33,8731	0,07664	0,14401
Rango	79,5500	0,14461	0,25644
2_1	193,689	0,80429	1,54423
2_2	395,522	0,70431	1,28888
2_3	264,639	0,94657	1,73223
Media	284,617	0,81839	1,52178
Desviacion Estandar	102,389	0,12174	0,22253
Rango	201,833	0,24226	0,44335
3_1	97,6720	0,48927	1,11554
3_2	155,339	0,45168	1,02982
3_3	103,122	0,35588	0,82207
Media	118,711	0,43228	0,98914
Desviacion Estandar	31,8376	0,06878	0,15090
Rango	57,6670	0,13339	0,29347
4_1	74,7887	0,42732	0,82046
4_2	68,9387	0,37640	0,71140
4_3	81,2720	0,59562	1,10785
Media	74,9998	0,46645	0,87990
Desviacion Estandar	6,16936	0,11473	0,20480
Rango	12,3333	0,21922	0,39645
5_1	382,172	1,33126	2,55603
5_2	224,289	1,08865	1,99223
5_3	242,539	1,03283	2,07598
Media	283,000	1,15091	2,20808
Desviacion Estandar	86,3689	0,15866	0,30423
Rango	157,883	0,29843	0,56380
6_1	118,105	0,76146	1,50770
6_2	288,855	0,74129	1,42327
6_3	265,655	0,73303	1,40741
Media	224,205	0,74526	1,44613
Desviacion Estandar	92,6146	0,01462	0,05391
Rango	170,750	0,02843	0,10029
TotalMedia	196,342	0,64724	1,25733
TotalDesviacion Estandar	96,9267	0,29517	0,55011
TotalRango	326,583	1,03622	1,99473

Nota. La figura representa la continuación del informe de las pruebas de tensión de las biopelículas.

ANEXO 3.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación sobre las biopelículas, pues se evidencia de forma positiva las características para posiblemente remplazar algún tipo de polímero, además de realizar otras combinaciones con diferentes pectinas extraídas de otros desechos orgánicos.

Se recomienda que la extracción de la pectina de cáscara de naranja sea durante un estado de maduración avanzado de la naranja para obtener mayor rendimiento en la obtención de la pectina.

Se sugiere que la extracción de la pectina de pulpa de café sea posterior a la despulpación del café, pues, se ve influenciado negativamente el rendimiento por el inicio del proceso de maduración de la pulpa.

Es recomendado la refrigeración para la materia prima al recolectarse en caso de que no se vaya a realizar uso inmediato, pues puede afectar en las diferentes etapas del proceso (extracción/hidrólisis).

Con el fin de lograr una caracterización más profunda de las biopelículas y ampliar así el conocimiento acerca de otras propiedades mecánicas que afectan en el comportamiento de esta, se sugiere realizar pruebas como: biodegradabilidad, densidad, prueba de desgaste, entre otras.

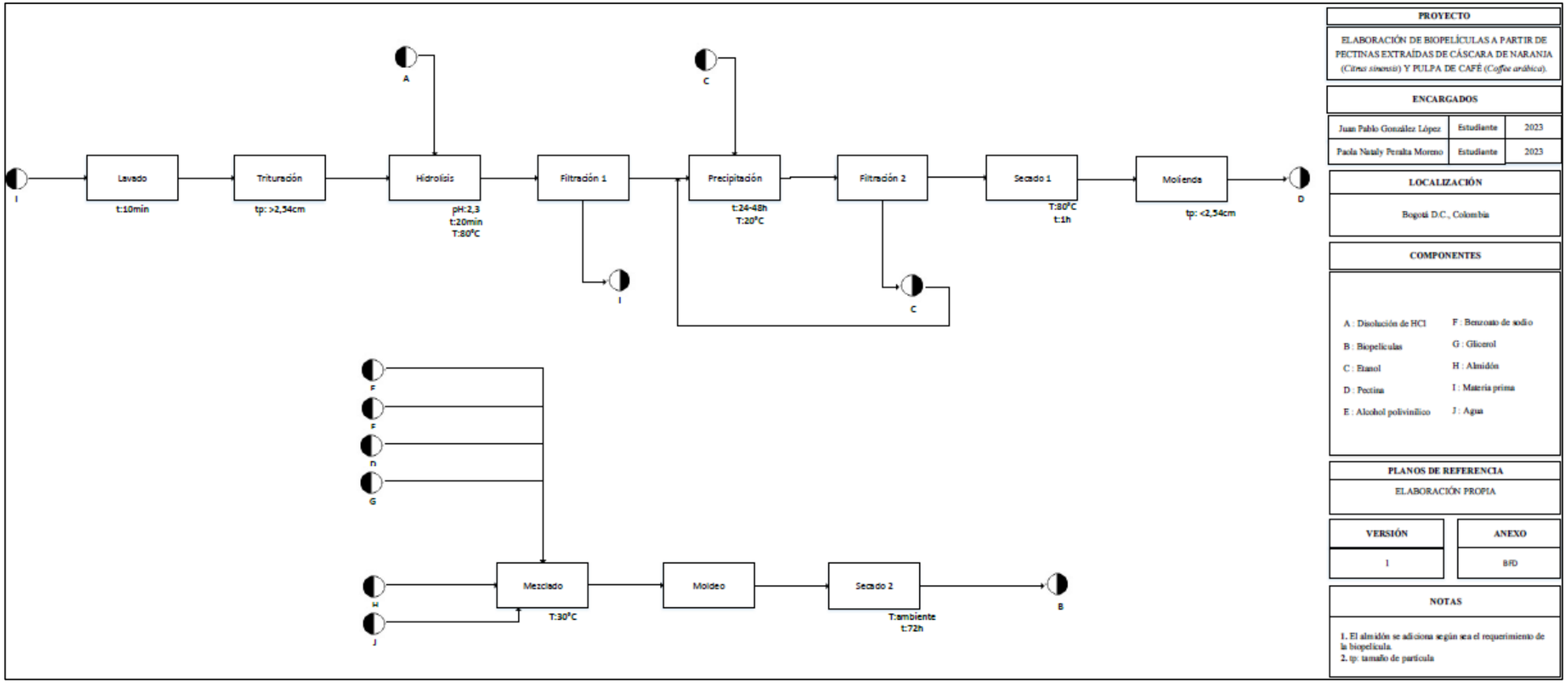
Para obtener una biopelícula con mejores características y que de esta manera soporte más la fuerza de tensión se recomienda variar las cantidades de los componentes en la formulación, donde el componente plastificante (glicerol) tenga mayor protagonismo, pues la biopelícula presentara una mejor cristalinidad sin presencia de regiones amorfas.

ANEXO 4.

DIAGRAMA BFD

Figura 50.

Diagrama de bloques de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de cáscara de naranja (C. sinensis) y de pulpa de café (C. arábica).



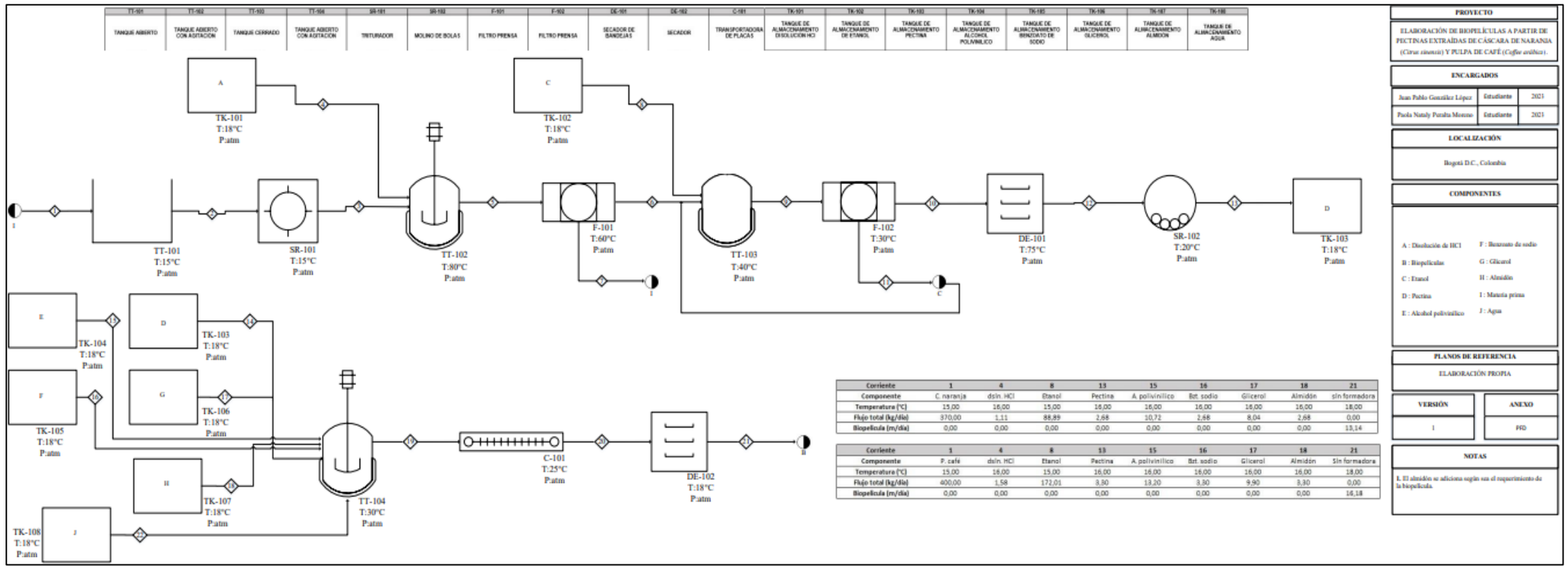
Nota. La figura anterior representa el diagrama de bloques de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de ambas materias primas.

ANEXO 5.

DIAGRAMA PFD

Figura 51.

Diagrama de proceso de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de cáscara de naranja (C. sinensis) y de pulpa de café (C. arábica).



Corriente	1	4	8	13	15	16	17	18	21
Componente	C. naranja	dsln. HCl	Etanol	Pectina	A. polivinílico	Bzt. sodio	Glicerol	Almidón	sln formadora
Temperatura (°C)	15,00	16,00	15,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	18,00
Flujo total (kg/día)	370,00	1,11	88,89	2,68	10,72	2,68	8,04	0,00	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,14

Corriente	1	4	8	13	15	16	17	18	21
Componente	P. café	dsln. HCl	Etanol	Pectina	A. polivinílico	Bzt. sodio	Glicerol	Almidón	Sln formadora
Temperatura (°C)	15,00	16,00	15,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	18,00
Flujo total (kg/día)	400,00	1,58	172,01	3,30	13,20	3,30	9,90	3,30	0,00
Biopelícula (m/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,18

Nota. La figura anterior representa el diagrama de bloques de la fabricación de biopelículas de pectina extraída de ambas materias primas.