

**EVALUACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE SEMILLAS DE
MANGO (*MANGIFERA INDICA*) CON APLICACIÓN POTENCIAL EN
ENVASES**

CODIGO: 1901-056

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

EVALUACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE SEMILLAS DE MANGO (*MANGIFERA INDICA*) CON APLICACIÓN POTENCIAL EN ENVASES

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):

Línea de Investigación:
Gestión integral sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla de contenido

1. Resumen	7
2. Abstract	7
3. Introducción.....	8
4. Planteamiento del problema	9
5. Pregunta de investigación.....	10
6. Objetivos	10
6.1 Objetivo general.....	10
6.2 Objetivo específico	10
7. Justificación.....	10
8. Marco de referencia	11
8.1 Estado de arte.....	11
8.1.1 Internacional	12
8.1.2 Nacional	13
8.2 Marco conceptual.....	14
8.2.1 Clasificación de polímeros biodegradables (Bioplásticos)	15
8.3 Marco teórico.....	16
8.4 Marco normativo.....	18
8.4.1 Normativa nacional.....	19
8.5 Marco geográfico.....	19
8.6 Marco institucional	22
8.6.1 Fedemango	22
8.6.2 Aspromancol.....	22
9. Metodología.....	22
9.1 Objetivo específico 1: obtener un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (<i>Mangifera indica</i>).....	23
Fase 1: Identificación de los componentes	23
9.1.1 Actividad 1. Recopilación bibliográfica:	23
9.1.2 Actividad 2. Visitas de técnicas.....	23
Fase 2: Extracción de almidón de mango	23
9.1.3 Actividad 3. Tratamiento de la semilla	23
9.1.4 Actividad 4. Proceso de extracción del almidón	23
9.1.5 Actividad 5. Determinación del porcentaje de extracción de extracción.....	24

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Fase 3. Proceso para la elaboración de bioplástico	24
9.1.6 Actividad 6. Preparación del agente de refuerzo	24
9.1.7 Actividad 7. Obtención del bioplástico	24
9.1.8 Actividad 7. Determinación del rendimiento de obtención del bioplástico	25
9.2 Objetivo específico 2: caracterizar las propiedades físicas y químicas del bioplástico	25
Fase 4. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del bioplástico.....	25
9.2.1 Determinación del contenido de amilosa y amilopectina	25
9.2.2 Espectroscopia Infrarroja de Transformada Fourier (EITF)	26
9.2.3 Prueba de espesor	26
9.2.4 Prueba de densidad	26
9.2.5 Prueba de absorción de agua	26
9.2.6 Solubilidad en agua.....	26
9.3 Objetivo específico 3: Determinar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde que presenta el proceso de obtención del bioplástico.	27
10. Resultados y discusión.....	31
10.1 Objetivo específico 1: obtener un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (<i>Mangifera indica</i>)	31
10.1.1 Visita técnica	31
10.1.2 Extracción de almidón de semillas de mango	36
10.1.3 Porcentaje de extracción de almidón	40
10.1.4 Preparación del agente de refuerzo	41
10.1.5 Obtención del bioplástico.....	43
10.1.6 Rendimiento de obtención del bioplástico	45
10.2 Objetivo específico 2: caracterizar las propiedades químicas y físicas del bioplástico.	46
10.2.1 Determinación del contenido de amilosa y amilopectina	46
10.2.2 Espectroscopia Infrarroja de Transformada Fourier (EITF)	48
10.2.3 Prueba de espesor y densidad	54
10.2.4 Prueba de absorción de agua	56
10.2.5 Solubilidad del bioplástico	60
10.3 Objetivo específico 3: Determinar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde que presenta el proceso de obtención del bioplástico.	64
10.4 Aplicabilidad del bioplástico obtenido en envases.	80
11. Conclusiones	83

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

12.	Recomendaciones.....	83
13.	Bibliografía	84
14.	Anexos	92

Listado de tablas

Tabla 1	Lista de normas aplicables al proyecto a nivel nacional	19
Tabla 2.	Lista de empresas que se dedican a la producción y comercialización de pulpas y jugos en la ciudad de Bogotá	20
Tabla 3.	Interpretación del porcentaje de cumplimiento de los principios de la química verde evaluados en relación con su nivel de acercamiento	29
Tabla 4.	Escala de análisis y evaluación	29
Tabla 5.	Acta de visita técnica a la empresa "Terracota pulpas y frutas"	34
Tabla 6.	Porcentaje de extracción de almidón de semilla de mango	40
Tabla 7.	Diseño metodológico para la obtención de los bioplásticos	44
Tabla 8.	Rendimiento de obtención de las muestras del bioplástico de almidón	45
Tabla 9.	Rendimiento de obtención de las muestras del bioplástico reforzado con celulosa.....	46
Tabla 10	Contenidos de amilos y amilopectina del almidón de semilla de mango a partir de la absorbancia	47
Tabla 11.	Espesor y densidad promedio de las formulaciones de bioplástico obtenido con su respectiva incertidumbre.....	55
Tabla 12	Resultados de la prueba de absorción de agua del bioplástico de almidón	57
Tabla 13.	Valores promedio de la prueba de absorción de agua del bioplástico de almidón.....	57
Tabla 14.	Resultados de la prueba de absorción de agua del bioplástico reforzado.....	58
Tabla 15.	Resultados de la prueba de solubilidad del BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN	61
Tabla 16.	Resultados de la prueba de solubilidad del bioplástico reforzado con celulosa	61
Tabla 17.	Relación entre el contenido de amilopectina y la solubilidad de diferentes fuentes de almidón	63
Tabla 18.	Matriz de diagnóstico del proceso de extracción de almidón de semilla de mango	66
Tabla 19.	Justificación de la evaluación realizada para el proceso de extracción de almidón de semilla de mango	68
Tabla 20.	Promedio de la puntuación de los principios evaluados en el proceso de extracción de almidón de semilla de mango	69
Tabla 21.	Datos para el cálculo del porcentaje de cumplimiento	70
Tabla 22.	Matriz de diagnóstico del proceso de obtención de bioplástico.....	74
Tabla 23.	Justificación de la evaluación realizada para el proceso de obtención de bioplástico	76
Tabla 24.	Promedio de la puntuación de los principios evaluados en el proceso de obtención del bioplástico.....	77
Tabla 25.	Datos para el cálculo del porcentaje de cumplimiento	78
Tabla 26.	Comparación de las propiedades físicas y químicas entre los bioplásticos obtenidos y plásticos convencionales	81
Tabla 27.	Propiedades generales de polímeros plásticos utilizados para envases de productos alimenticios.....	82

Listado de figuras

Figura 1. Estructura química del almidón	14
Figura 2 Clasificación de bioplásticos según su procedencia	16
Figura 3. Mapa con la localización de las empresas productoras de pulpas y jugos en Bogotá	21
Figura 4. Logotipo de Fedemango	22
Figura 5. Representación gráfica de la estrella verde con un porcentaje de cumplimiento de un 100%	28
Figura 6. Ubicación de la empresa Terracota pulpas y frutas	32
Figura 7. Panorama general de la empresa Terracota pulpas y frutas	33
Figura 8. Área de producción de pulpa de mango	33
Figura 9. Área de almacenamiento de residuos orgánicos	34
Figura 10 Componentes de la semilla del mango	36
<i>Figura 11. Proceso de selección de las semillas</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12. Trituración de los cotiledones de mango.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13. Sumersión en una solución de bisulfito de sodio (NaHSO₃).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14.Licuada de los cotiledones de mango.....</i>	<i>38</i>
Figura 15. Filtración de la pasta obtenida	39
Figura 16. Secado del almidón obtenido.....	39
<i>Figura 17. Obtención de almidón.....</i>	<i>40</i>
Figura 18. Comparación del porcentaje de extracción de almidón de semilla de mango.....	41
Figura 19. Resultado de la testa triturada vista a través de un estereoscopio.....	42
Figura 20. Resultado del endocarpio triturado, visto a través de un estereoscopio.....	43
Figura 21. Prototipos finales de los bioplásticos obtenidos	45
Figura 22. Comparación del porcentaje de amilosa obtenido, con otros autores	47
Figura 23. Comparación del porcentaje de amilopectina obtenido, con otros autores	48
Figura 24. Estructura química del almidón	49
Figura 25. Espectro infrarrojo del almidón de semilla de mango.....	49
Figura 26. Estructura química de la celulosa.....	50
Figura 27. Espectro infrarrojo de la muestra de testa	50
Figura 28. Espectro infrarrojo de la muestra de endocarpio	51
Figura 29. Estructura química del glicerol	51
Figura 30. Espectro infrarrojo del glicerol	52
Figura 31. Espectro infrarrojo del bioplástico de almidón (Formulación 1).....	53
Figura 32. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 2)	53
Figura 33. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 3)	54
Figura 34. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 4)	54
<i>Figura 35. Espesor promedio de cada una de las formulaciones de bioplástico</i>	<i>55</i>
Figura 36. Densidad de cada una de las formulaciones de bioplástico.....	56
Figura 37. Porcentaje de absorción de agua para bioplástico de almidón	58
Figura 38. Porcentaje de absorción de agua para bioplástico reforzado con celulosa.....	59
Figura 39. Absorción de agua de cada una de las formulaciones de BPL	¡Error! Marcador no definido.
Figura 40. Comparación de los valores de solubilidad de cada formulación de bioplástico con otras fuentes reportadas	63
Figura 41. Relación entre el contenido de amilopectina y el porcentaje de solubilidad de cada formulación de bioplástico	62

Figura 42. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de semilla de mango con sus respectivos principios evaluados	65
Figura 43. Estrella verde obtenida para el proceso de extracción de almidón de semilla de mango.....	71
Figura 44 . Diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico con sus respectivos principios evaluados	73
Figura 45. Estrella verde obtenida para el proceso de obtención del bioplástico.....	79

1. Resumen

El objetivo principal del presente estudio fue proponer la evaluación de un bioplástico hecho a partir del almidón residual de las semillas de mango (*Mangifera Indica*), para esto, se llevó a cabo una visita técnica a la empresa Terracota pulpas y frutas, en la cual se hizo un diagnóstico, para determinar la cantidad total de residuo que se genera, este valor obtuvo un valor de 20,9%, lo que coincide con la teoría, en la que se propone un rango de 15% a 36%, paralelamente a esto, se recolecto aproximadamente 1 kg de semillas. Posteriormente se procedió a extraer el almidón de dichas semillas, y se obtuvo un porcentaje promedio de extracción del 28,1%. Una vez obtenido el almidón, se realizó el proceso de obtención de bioplástico, para la cual se elaboraron cuatro formulaciones diferentes, en donde el parámetro que variaba era el contenido de fibra de celulosa con concentraciones de 4% , 4,5% y 5%. Se llevaron a cabo seis pruebas físicas y químicas, para caracterizar las formulaciones obtenidas. El porcentaje de rendimiento de obtención de los bioplásticos fue de 21,40% para el bioplástico de almidón, y 21,82% en el caso de los bioplásticos almidón y celulosa, la caracterización, de los espectros infrarrojos corrobora la presencia de los grupos funcionales presentes en las muestras de celulosa, glicerol, y almidón. El contenido de amilosa y amilopectina fue del 14,09% y del 85, 91%. Los valores promedio del espesor y de la densidad , estuvieron en un rango de 0,04mm y 0,16 mm y 1,09 g/mL y 1,00 g/ml, respectivamente. El porcentaje de absorción de agua alcanzo un valor promedio del 71,9% para el bioplástico de almidón, y valores de 53,9 % , 71,5 % y 39,8 % para las otras formulaciones. En cuanto a las solubilidades obtenidas, los porcentajes fueron de 64,9% , 63,5% , 63,0% y 56,9%. La evaluación de los procesos involucrados en el proceso de obtención del bioplástico se llevó a cabo, mediante le metodología Green Star, en la cual se determinó que el nivel de cumplimiento de diez principios de la química verde para el proceso de extracción del almidón fue del 87%, mientras que para el de obtención del bioplástico fue de 88%

Palabras clave: “Bioplástico”, “Almidón”, “Agente reforzante” , “Química Verde”

2. Abstract

This research aimed at characterizing four formulations of mango seed starch bioplastics, evaluating their physical and chemical properties, such as density, thickness, solubility, water absorption behaviour, fourier transform infrared spectroscopy, amylose and amylopectin content, and finally the level of accomplishment involve of ten principles of green chemistry. The starch was extracted from the seeds, and the results showed an average extraction percentage of 28.1%. Once the starch was obtained, the bioplastic obtaining process was carried out, the parameter that varied was the

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

cellulose fiber content with concentrations of 4%, 4.5% and 5% . The yield of obtaining bioplastics was 21.40% for starch bioplastic, and 21.82% for starch/cellulose bioplástico. The characterization of infrared spectra corroborates the presence of functional groups in cellulose samples, glycerol, and starch. The amylose and amylopectin content was 14.09% and 85.91%. The average values of thickness and density were in the range of 0.04mm and 0.16mm and 1.09g / mL and 1.00g / ml, respectively. The percentage of water absorption reached an average value of 71.9% for the bioplastic starch, and values of 53.9%, 71.5% and 39.8% for the other formulations. Regarding the solubilities obtained, the percentages were 64.9%, 63.5%, 63.0% and 56.9%. The evaluation of the processes involved in the process of obtaining the bioplastic was carried out, using the Green Star methodology, in which it was determined that the level of compliance with ten principles of green chemistry for the starch extraction process was 87%, while for obtaining the bioplastic was 88%

Keywords: “Bioplástico”, “Starch”, “Filler reinforcement” , “Green Chemistry”

3. Introducción

El continuo desarrollo de la agroindustria conlleva, inevitablemente, a la generación de subproductos o residuos en las diferentes etapas del proceso productivo; esto se traduce, en pocas palabras, en una marcada ineficiencia de la producción, lo que inherentemente está ligado a pérdidas económicas para la empresa. Para ejemplificar lo anteriormente expuesto, se pone a consideración el caso del proceso productivo destinado a la elaboración de pulpas y jugos a base de mango, en el cual los residuos que se generan oscilan entre el 40% y 50% del total de la materia prima que ingresa, asimismo, dichos residuos presentan un potencial de aprovechamiento alto, en cuanto a: la elaboración de nuevos productos, aporte de valor agregado a los productos originales y recuperar condiciones ambientales alteradas.

Es pertinente resaltar que dichos residuos no cuentan con mecanismos de tratamiento o disposición final adecuados, ya sea por los altos costos implicados o por desconocimiento, por lo que su degradación da origen a la producción de olores ofensivos, gases tóxicos, atracción de vectores y producción de lixiviados, que tienen consecuencias a corto, mediano y largo plazo.

Es posible entonces, considerar como una de las alternativas para dar solución a esta problemática, la utilización de la semilla de mango, específicamente el almidón, para elaborar un bioplástico que se constituya como un material sustituto de los plásticos convencionales derivados del petróleo, que presente las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto. Por lo tanto el trabajo aborda su aporte desde la perspectiva de los tres principales ejes del desarrollo sostenible:

Desde el punto de vista ecológico, este trabajo se realiza con la finalidad de contribuir en la reducción de residuos sólidos contaminantes por medio de la elaboración de un plástico totalmente biodegradable, que cumpla con las propiedades requeridas de los empaques que se utilizan en la actualidad, pero con la ventaja de poder ser reincorporado al medio ambiente a través de la degradación.

Desde una perspectiva económica, el proyecto plantea una alternativa de aprovechamiento de residuos agroindustriales, en este caso la semilla de mango, provenientes de las fábricas de pulpa de fruta, que al transformarla en un material con potencialidad de uso en envases, tenga un valor agregado

Finalmente, desde lo social, se pone a consideración el hecho de que la mayoría de las personas son consumidores de algún tipo de producto plástico, que desechan en algún momento. En Colombia, el consumo anual de plástico es de 28 Kg por habitante (De la Hoz, 2018), cifra considerable que tiende a incrementarse por el estilo actual de vida. En este orden de ideas, el objetivo del presente proyecto fue desarrollar diferentes formulaciones de bioplástico con diferentes concentraciones de celulosa, y evaluar sus propiedades físicas y químicas, con el fin de determinar si es un material adecuado para la elaboración de envases.

4. Planteamiento del problema

El procesamiento del mango destinado a la obtención de pulpas y jugos genera toneladas de residuos: semillas, endocarpios y cáscaras que representan entre el 15 % y el 36 % del total de la fruta dependiendo de la variedad; residuos que a pesar de tener un potencial de aprovechamiento alto son, en la mayoría de los casos, dispuestos en rellenos sanitarios (Ospina, Hernández, & Lozano, 2012). Ahora bien, algunas de las razones que generan este desaprovechamiento son las siguientes:

En primer lugar, esto es debido a la complejidad química de los residuos, cuya extracción de compuestos aprovechables, tales como las grasas, proteínas, fibras, polifenoles y almidones (Fowomola, 2012), afronta inconvenientes como el consumo de tiempo del proceso y la porcentaje de extracción de dicha extracción (Shah, Sharma, & Gupta, 2005). Ahora bien, el desconocimiento de las técnicas apropiadas para su valorización en conjunto con los altos costos que representa su tratamiento, son los detonantes para que aproximadamente el 40% de estos residuos terminen en rellenos sanitarios (Grande, 2016; Gonzales, 2013). En este orden de ideas, algunas de las problemáticas asociadas a esta actividad son, por un lado, la generación de focos potenciales de contaminación atmosférica por la fermentación de estos residuos, lo cual atrae todo tipo de vectores (insectos, moscas y ratas), estos a su vez, facilitan la proliferación de enfermedades, que representan un riesgo para la salud de las personas; por otro lado, la contaminación de fuentes hídricas se produce cuando la lluvia arrastra estos residuos a vías fluviales; además los lixiviados que se generan terminan contaminando aguas freáticas (Kiely, 1999).

En segundo lugar, la implementación de tecnologías para la recuperación de recursos, tales como la valorización biológica y química, obtención de combustibles y valorización térmica (Abraham, Ramachandran, & Ramalingam, 2007) presentan requerimientos tecnológicos complejos, para los cuales debe realizarse un análisis previo detallado de factibilidad integral (económico, técnico y financiero) y por ende poseen altos costos, representados en estudios de viabilidad, inversión, operación y mantenimiento (Área metropolitana de Bucaramanga & UIS, 2015; Departamento Nacional de planeación & Tecnia, 2018). En este punto, es preciso mencionar, que las empresas productoras de pulpas y jugos a base de mango presentan una ineficiencia en el procesamiento de dicho fruto, puesto que los residuos representan cerca del 50% del peso total, en donde la semilla abarca del 9 al 27 %, por ende esta ineficiencia de extracción se traduce en pérdidas económicas para la empresa (Sruamsiri & Silman, 2009; Vargas & Perez, 2018).

En último lugar la ausencia de incentivos económicos y/o fiscales para fomentar la transformación de productos y materiales procedentes de los residuos en nuevos recursos que puedan ser reincorporados en los sucesivos ciclos productivos unido al desconocimiento de métodos apropiados para la preparación y

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la suficiente calidad e inocuidad (Departamento Nacional de planeación & Tecnia, 2018; Gonzales, 2013) generan una poca participación de las empresas en el aprovechamiento de sus residuos (Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica (ALTEC), 2013).

5. Preguntas de investigación

¿El bioplástico obtenido cumplirá con los requerimientos técnicos necesarios para poder convertirse en un material apto para envase?

¿Qué criterios se deben tener en cuenta para llevar a cabo una evaluación del nivel de cumplimiento de los principios de la química verde para el proceso de obtención de un bioplástico?

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

- Evaluar un bioplástico hecho a partir de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en la elaboración de envases.

6.2 Objetivo específico

- Obtener un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*).
- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del bioplástico.
- Determinar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde que presenta el proceso de obtención del bioplástico.

7. Justificación

En el proceso industrial de despulpado de mango se procesa un volumen significativo de fruta y por ende se genera gran cantidad de residuos agroindustriales, entre ellos semillas, endocarpios y cáscaras que representan del 15 % - 36 % del total de la fruta dependiendo de la variedad, los cuales no tienen una adecuada disposición, muchas veces por los altos costos que representa su tratamiento o por desconocimiento de los productores (Ospina, Hernández, & Lozano, 2012).

La biomasa generada en este proceso es fuente potencial de productos de alto valor agregado, tal como antioxidantes, biopolímeros, enzimas, oleorresinas y aceites esenciales. Consecuencia de los beneficios mencionados se han desarrollado diversos proyectos investigativos a nivel nacional y regional con el fin de determinar desde diferentes enfoques las propiedades aprovechables en el residuo del despulpado del mango. Ejemplo de ello es el documento de grado desarrollado por (Guerrero & Campos, 2014), donde se realiza una estimación teórica del proceso de transformación del mango y el aprovechamiento de sus subproductos. Como el objetivo es tomar aprovechamiento máximo de todo subproducto obtenido una vez se realiza la extracción de la pulpa, en el documento de grado desarrollado por (Ospina, Hernández,

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

& Lozano, 2012) en la ciudad de Manizales, se planteó una técnica para la obtención de etanol a partir de los azúcares, almidón y materiales lignocelulósicos presentes en las semillas y cáscaras de mango. Es preciso mencionar que a nivel local no se tiene evidencia de proyectos de investigación que aborden esta problemática.

Por ende, la presente investigación puede ser un gran elemento de partida el aprovechamiento de residuos del proceso productivo para la obtención de pulpas y jugos elaborados a partir del mango y por consiguiente puede contribuir con la disminución de la contaminación ambiental generada por la agroindustria de pulpas y jugos de mango.

Ahora bien, considerando que los Objetivos de desarrollo sostenible constituyen el marco de acción del ingeniero ambiental, es pertinente mencionar que el proyecto está alineado con el objetivo número 12 “Producción y consumo sostenible”, en especial con la meta 12.a, la cual hace referencia a ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles, y con la meta 12.5 la cual pretende reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. De igual manera el proyecto busca aportar al objetivo 9 “Industria, innovación e infraestructura”, en particular con la meta 9.B, en la cual se plantea apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas (Comisión económica para América Latina y el Caribe, 2016).

Dadas las condiciones que anteceden, el aporte desde y para la ingeniería ambiental del proyecto se basa en proponer una alternativa de aprovechamiento de los residuos agroindustriales del procesamiento del mango con el fin de obtener un bioplástico con potencial aplicación en la elaboración de envases y como material sustituto del plástico convencional, con un enfoque de sostenibilidad desde la perspectiva de los principios de la química verde, en donde se minimizan el uso de reactivos tóxicos y la generación de residuos. Esto teniendo en cuenta el perfil del ingeniero ambiental de la Universidad El Bosque, el cual está en capacidad de orientar e implementar proyectos y actividades de investigación, transferencia e innovación, en el campo de los procesos tecnológicos, sociales y culturales, que mejoren la calidad de vida y el ambiente de la población. Cabe resaltar que esta idea surge de la investigación realizada en el de ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos Poliméricos para la elaboración de Materiales Sostenibles).

8. Marco de referencia

8.1 Estado de arte

En busca de soluciones a esta problemática, las propuestas que se han planteado presentan un enfoque de valorización de los residuos, esto último se lleva a cabo mediante tres tipos de tecnologías: en primera instancia se encuentra la valorización química y biológica, cuyo objetivo es la obtención de sólidos, líquidos o gases que se puedan comercializar, en esta categoría se encuentra el compostaje, la lombricultura y la obtención de aceites esenciales (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008). En segunda instancia, está la valorización térmica, la cual busca esencialmente la recuperación de energía a partir de los gases generados, ejemplo de esto es la incineración y la pirolisis (Castells, 2012). Finalmente, está la

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

obtención de combustibles tales como el biodiesel o el bioetanol (Abraham, Ramachandran, & Ramalingam, 2007).

Los estudios correspondientes al aprovechamiento de la semilla de mango, son amplios, sin embargo, pocos han explorado el campo de la elaboración de bioplásticos como estrategia de aprovechamiento, en este contexto, es preciso resaltar que los bioplásticos presentan una serie de ventajas relacionadas con aumentar la eficiencia los recursos, lograr una reducción considerable en la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en pocas palabras, optar por la producción de plásticos biodegradables constituye una estrategia para contribuir al desarrollo sostenible (Chen, 2013).

El presente estado del arte se basa en la revisión bibliográfica de trabajos de investigación relacionados con la obtención de bioplásticos, tanto a nivel internacional como nacional.

8.1.1 Internacional

En primer lugar, se encuentra la investigación “*Desarrollo de una película plástica a partir del almidón extraído de papa residual*”, en la cual se elaboró un polímero biodegradable a base de almidón de papa residual, variando las concentraciones de cada uno de sus componentes con el fin de determinar la formulación que presentara las mejores características, este mismo, fue sometido a pruebas para caracterizarlo, tales como, el punto de fusión, resistencia al agua, permeabilidad y determinación de la densidad. El biopolímero que presento las mejores características para la formación de la película fue el que contenía las siguientes concentraciones: almidón (8%), agua (75%), ácido clorhídrico (0,1M) y glicerol (11%), su punto de fusión fue de 265°C, la densidad resulto ser de 1 g/mL, por otro lado, la película plástica presenta una alta solubilidad, por lo que tiende a desintegrarse al cabo de 24 horas por lo que no es muy apropiada en contacto directo con humedad (Ortiz, y otros, 2013). El aporte de esta investigación es esencialmente brindar información acerca de las concentraciones óptimas para el desarrollo de una película plástica, por ende, estos datos se tendrán en cuenta para la elaboración del bioplástico.

Posteriormente, en el artículo de investigación titulado “*Biodegradable film from mango kernel starch: Effect of plasticizers on physical, barrier, and mechanical properties*” se estudió la viabilidad de utilizar el almidón de semilla de mango como un nuevo material formador de películas plásticas, para ello, se preparó una solución al 2% (p / v) de semilla de mango con diferentes plastificantes (glicerol, sorbitol, PEG-400 y una mezcla 1: 1 de glicerol y sorbitol) a diferentes concentraciones (40, 50, 60 y 70% w / w de peso de almidón), de igual manera, se investigaron los efectos de los plastificantes sobre las propiedades físicas, de barrera, de sorción y mecánicas. Se observó que el glicerol, el sorbitol y su combinación 1: 1 producían películas homogéneas, transparentes y lisas, mientras que el PEG-400 no formaba una película con las características apropiadas. Las películas plastificadas con glicerol exhibieron mayor solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y alargamiento a la rotura, pero menor resistencia a la tracción que las obtenidas con sorbitol y plastificantes combinados (Nawab, Alam, Abdul Haq, & Hasnain, 2016). El aporte de esta investigación al presente trabajo es de carácter metodológico, en cuanto a: la técnica de extracción de almidón de la semilla de mango, la medida del espesor y la determinación de la solubilidad del filme, asimismo, se elige el uso del glicerol como plastificante, dado que fue el que confirió características óptimas para la elaboración del filme.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Por último, se encuentra el trabajo titulado “*Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer*” cuyo objetivo fue conocer el potencial que presentaba el almidón de la semilla de mango y las micropartículas de arcilla, como agente de refuerzo, en la elaboración de una película plástica. El diseño metodológico consistió en preparar una solución de almidón al 5% (p/v) variando la concentración tanto de las micropartículas de arcilla como de glicerol. Los bioplásticos resultantes se analizaron por sus propiedades físicas y químicas, incluidos la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (EITF), microscopía electrónica de barrido (SEM), resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. En cuanto al análisis químico del almidón se obtuvo un contenido de amilosa del 14.82% y de amilopectina del 44%. El bioplástico que presentó mejores características fue el que contenía 6% de arcilla y 25% de glicerol, con una resistencia a la tracción de 5.657MPa, porcentaje de alargamiento en la ruptura 43.431% (Maulida, Kartika, Harahap, & Ginting, 2018). Este estudio aporta metodologías para la caracterización del bioplástico tal como la determinación de la densidad mediante la prueba estándar ASTM D792-91, y la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (EITF), además brinda información acerca del efecto de un agente reforzante en las propiedades físicas del bioplástico.

8.1.2 Nacional

A nivel nacional, se encontró un artículo publicado por la Universidad de San Buenaventura titulado: “*Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca*”, en el cual se estudió el comportamiento de las propiedades mecánicas, densidad y color en bioplásticos elaborados con harina de yuca de variedad MPER183 gelatinizada, reforzados con fibra de fique. La técnica aplicada fue moldeo por compresión variando la presión (0, 20 y 40 psi) y la temperatura (180, 190 y 200°C), las cuales afectaron significativamente las propiedades mecánicas, el color y la densidad de los bioplásticos, identificando las condiciones de temperatura de 180°C y presión de 0 psi como las más favorables, altos valores de esfuerzo de flexión, modulo elástico de flexión y baja densidad, mientras que la temperatura de 190°C y presión de 0 psi, fueron apropiadas para obtener altos valores de esfuerzo de tensión y modulo elástico de tensión (Navia & Bejarano, 2014). En este estudio el valor de la densidad se compara con las densidades obtenidas de diferentes formulaciones de bioplásticos así como del poliestireno expandido, dichos valores se tendrán en cuenta en el análisis de dicho parámetro.

En el año 2017, la Universidad de América, publicó un artículo de revisión titulado “*Propiedades, modificaciones y usos de los almidones, con miras a la obtención de películas biodegradables. artículo de revisión*”, en el cual se analizan las características y propiedades del almidón de diferentes fuentes: entre ellas: quinua, banano. Su objetivo, por una parte, es definir tres variables que están ligadas a la obtención de películas biodegradables como lo son: contenido de amilosa, diámetro de partícula y temperatura de gelatinización, y por otra, establecer la concentración de los componentes para la formación de la película (Bernal, y otros, 2017). El aporte de esta revisión es de carácter teórico, puesto que hace énfasis en el análisis de la relación entre las características fisicoquímicas del almidón y su comportamiento mecánico y óptico de las estructuras poliméricas biodegradables

Para finalizar, en el artículo titulado “*Residuos de Mangifera indica como materia prima para la elaboración de biopolímeros*”, realizado por Jaramillo, Ferrer y Cárdenas, para llevar a cabo la investigación se procedió a cuantificar cada una de las partes del mango, a deshidratar y realizar la extracción del almidón usando el cotiledón y la cascara del mango, de igual manera se elaboró el bioplástico. Se realizaron dos formulaciones de biopolímero, cuyos insumos básicos era la harina

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

obtenida tanto de la cascara de mango como de la semilla. Los resultados expuestos son características de textura y apariencia (Jaramillo, Ferrer, & Cárdenas, 2018). En este estudio se establece un rango para la temperatura de gelatinización del biopolímero hecho de harina de cotiledón de mango, el cual oscila entre 70°C y 90°C, este dato se tendrá en cuenta en la elaboración del bioplástico.

En este punto es preciso mencionar que a nivel local no se reportan investigaciones que aborden el tema de elaboración de bioplásticos a partir de almidón de semilla de mango, destinados a la producción de empaques para alimentos, de igual manera, son pocos los estudios que emplean algún tipo de agente de refuerzo en este tipo específico de bioplástico, aun cuando existe evidencia de que su aplicación mejora considerablemente propiedades físicas y mecánicas tales como la solubilidad, la resistencia a la tracción, la fuerza de tensión y la elasticidad (Muller, Borges, & Yamashita, 2009; Carvalho, Curvelo, & Agenelli, 2001). En vista de esto, para la elaboración del bioplástico del presente proyecto de investigación, se empleará un agente refuerzo de origen orgánico y biodegradable

8.2 Marco conceptual

Almidón

El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis y sirve como reserva de energía. Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D- (1,6), aproximadamente entre 0,3 a 0,5% del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes (Whister, Bemiller, & Paschall, 1984).

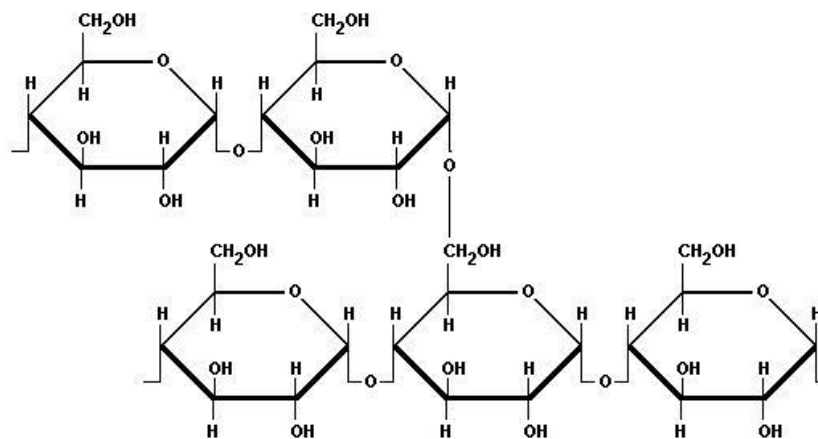


Figura 1. Estructura química del almidón

Autor: Arias, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Biodegradabilidad

Se define la biodegradación como la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar o mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos, que puedan integrar en los ciclos biogeoquímicos naturales. Sin embargo, en la biodegradación natural de los contaminantes se debe dar una serie de factores y condiciones vitales para el crecimiento de la bacteria, como son la humedad, los nutrientes, el oxígeno, el pH o la temperatura. Así mismo en este proceso influye la composición, concentración y disponibilidad de los contaminantes, o las características físicas y químicas del lugar contaminado (Kalpakjian & Schmid, 2002).

Bioplástico

Los bioplásticos son un tipo de plásticos biodegradables obtenido a partir de materias primas renovables derivados de la biomasa (plantas, algas, cultivos, arboles, organismos marinos y residuos orgánicos) , llegando a ser biodegradables por microorganismos como bacterias, hongos, algas, entre otros (Soulestein, Prashanta, Lacrampe, & Krawaczak, 2011).

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (Centro de Información Técnica, 2009).

8.2.1 Clasificación de polímeros biodegradables (Bioplásticos)

Según (Castillo & Iñiguez, 2011) y (Mere, 2009) los polímeros biodegradables se pueden clasificar a partir de su proceso de fabricación de la siguiente manera:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables. Algunos ejemplos de este grupo son: ácido poli láctico (PLA), poliácidos glicoles (PGA) y policaprolactonas (PCL).
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente. Este grupo engloba a: Polihidroxialcanoatos (PHA), poli-3-hidroxibutarato (PHB). Sin embargo, las clasificaciones más “estrictas”, clasifican los bioplástico únicamente en función de su procedencia bien sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose entonces bioplástico.

En la Figura 2 se muestra la clasificación de los bioplástico atendiendo a su origen destacándose con un círculo aquellos que tienen una mayor relevancia a nivel comercial

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

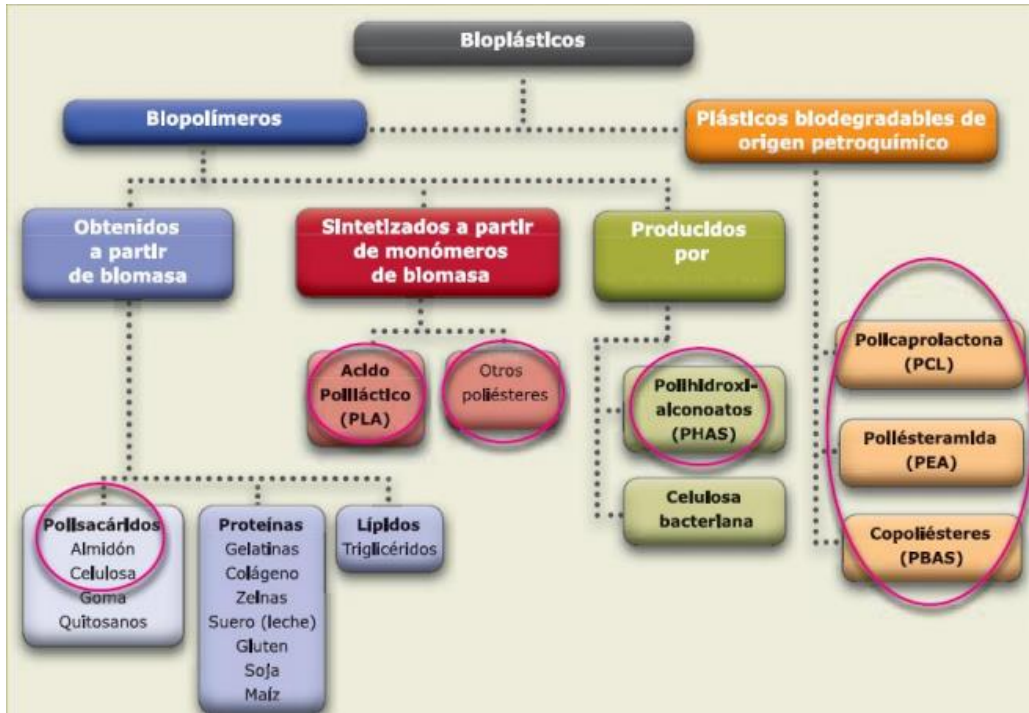


Figura 2 Clasificación de bioplásticos según su procedencia

Remar, 2011

8.3 Marco teórico

El desarrollo de este proyecto se enmarca en la teoría de desarrollo sostenible, definido en el informe Brundtland como “*desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*”. Este concepto ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, el desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. Dentro de esta teoría surge el concepto de sostenibilidad visualizado como la relación entre los sistemas humano y ecológico que permite mejorar y desarrollar la calidad de vida, manteniendo, al mismo tiempo, la estructura, las funciones y la diversidad de los sistemas que sustentan la vida (Ropke, 2005).

La sostenibilidad se divide en dos vertientes, por un lado, la sostenibilidad débil, concebida como la perdurabilidad de un sistema socioeconómico en el tiempo, siempre y cuando el capital global se mantenga generación tras generación, siendo este capital global el resultado de otros dos: el capital natural, que hace referencia al stock responsable del flujo de recursos naturales que entra en una sociedad y el capital de formación humana que se refiere a la disponibilidad de personal formado, tecnología y capital monetario (Goodland, Daly, El Serafy, & Von Droste, 1992). Esta vertiente incorpora una suposición de sustituibilidad perfecta entre las distintas existencias de capital, mientras esta compensación se realice siempre, la sociedad es libre de buscar cualquier combinación de acciones de capital que mejor se adapte a sus necesidades sin preocuparse por la sostenibilidad del desarrollo (Pearce & Atkinson, 1993).

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Por otro lado, la sostenibilidad fuerte, supone que las posibilidades de sustitución entre las existencias de capital son limitadas, incluso frente al progreso tecnológico, debido a la naturaleza crítica de algunos servicios. Por lo tanto, exige que haya niveles mínimos por debajo de los cuales no se permita que caigan las existencias de capital crítico. Asimismo, reconoce que el impacto de las acciones antropogénicas en el medio ambiente es cada vez menos marginal (Pearce & Atkinson, 1993).

Llegado a este punto, cabe mencionar que uno de los retos que se presentan dentro de este paradigma de sostenibilidad, está en encontrar nuevos procesos o tecnologías ambientalmente responsables, necesarios para la fabricación de productos que requiere la sociedad. Los procesos industriales, por lo general, hacen uso de sustancias químicas, en sus procesos de manufacturación y que al ser eliminadas repercuten en el medio ambiente, al no poder ser asimiladas o degradadas al mismo ritmo con el que se generan. Ante esto la química verde se presenta como una estrategia para darle solución a esta problemática.

La química verde, definida como la aplicación de un conjunto de acciones que reduce o elimina el uso o la generación de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y aplicaciones de productos químicos (Anastas & Warner, Green chemistry : theory and practice, 1998). Los planteamientos que rigen esta química están regulados por un protocolo que consta de 12 principios, los cuales se enuncian a continuación:

1. Prevenir la generación de residuos. Resulta más útil evitar o reducir la producción de desechos que tratarlos o limpiarlos tras su formación.
2. Maximizar la economía atómica. Los métodos sintéticos deben maximizar la incorporación de cada material utilizado en el proceso.
3. Realizar síntesis química menos peligrosa. Consiste en elaborar procesos que generen la mínima toxicidad e impacto ambiental.
4. Diseñar productos y compuestos menos peligrosos. Los productos químicos se deben diseñar con una toxicidad mínima.
5. Utilizar disolventes y condiciones seguras de reacción. Las sustancias auxiliares de los procesos químicos (disolventes, tampones, aditivos de separación, entre otros), han de ser inocuas y reducirlas al mínimo.
6. Diseñar para la eficiencia energética. Debe minimizarse los requerimientos energéticos para los procesos químicos, los cuales serán evaluados por su impacto medioambiental y económico, y reducirlos al máximo, intentando llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente.
7. Utilizar materias primas renovables. Los materiales de partida utilizados deben proceder de fuentes renovables, en la medida en que sea económica y técnicamente factible.
8. Evitar derivados químicos. La síntesis debe diseñarse con el uso mínimo de grupos protectores para evitar pasos extras y reducir los desechos.
9. Utilizar catalizadores. Debe emplearse catalizadores lo más selectivos y reutilizables posibles.
10. Diseñar productos fácilmente degradables al final de su vida útil. Los productos químicos han de ser diseñados de tal manera que al culminar su función no persistan en el ambiente y puedan degradarse a derivados inertes o biodegradables.
11. Monitorear los procesos químicos en tiempo real para evitar la contaminación. Debe crearse sistemas de control y monitorización continuos para prevenir la producción de sustancias peligrosas durante los procesos.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

12. Prevenir accidentes. Diseñar los procesos químicos, utilizando métodos y sustancias que reduzcan los accidentes (emisiones, explosiones, incendios, entre otros), y minimizar los daños cuando se produzca un accidente.

Existen numerosos estudios en los cuales se considera a los planteamientos de la química verde, como un eje fundamental para el desarrollo de estos, dichos estudios abarcan diferentes áreas de la química, incluidas la orgánica, inorgánica, bioquímica, polimérica, toxicológica, ambiental, física y tecnológicas. En consecuencia, la química verde no es una disciplina científica aislada, por el contrario, engloba un enfoque interdisciplinario de la ciencia, basado en la responsabilidad ecológica, química y social que propicia la creatividad y el avance de la investigación innovadora, paralelamente, trata de encontrar y mantener un equilibrio entre el uso de los recursos naturales, el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente. Es precisamente este enfoque, el que servirá como insumo estratégico para evaluar que tan verde es el proceso de obtención de bioplásticos hechos a partir de almidón de semilla de mango, esto con el fin de tener una perspectiva de sostenibilidad química en el proyecto.

8.4 Marco normativo

El concepto de desarrollo sostenible fue acogido en Colombia concretamente a través de la Asamblea Nacional Constituyente en 1991. Aquí se pudieron observar grandes logros respecto al medio ambiente. La nueva Constitución tiene como una de sus metas principales el desarrollo sostenible, recogiendo una de las principales discusiones y propósitos a nivel internacional (Eschenhagen, 1998). En el capítulo 3 se consagran los artículos referentes a los derechos colectivos y del ambiente, a continuación se exponen algunos de estos ligados al concepto de desarrollo sostenible:

“Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.” (Constitución Política de Colombia, 1991)

“Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.” (Constitución Política de Colombia, 1991)

Por medio de la siguiente tabla se identifica la normativa a nivel nacional que rige el manejo de los residuos sólidos y la prevención de la contaminación.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

8.4.1 Normativa nacional

Tabla 1. Lista de normas aplicables al proyecto a nivel nacional

Norma	Propósito	Expide
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA	Congreso de Colombia
Política nacional de producción más limpia del Ministerio del Medio Ambiente de 1997	Busca prevenir la contaminación en su origen, con resultados significativos para la construcción de las posibilidades reales de sostenibilidad y competitividad sectorial.	Ministerio del Medio Ambiente
Decreto 838 de 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.	Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Decreto 312 de 2006	Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital	Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
CONPES 3934 de 2018	Política de crecimiento verde: establece que para mantener e incrementar el ritmo de crecimiento económico que necesita el país, y así atender las problemáticas sociales, en materia de pobreza, desigualdad y construcción de paz, se requiere la búsqueda de nuevas fuentes de crecimiento que sean sostenibles	Consejo Nacional de Política Económica y Social

Autor, 2019

8.5 Marco geográfico

La ciudad de Bogotá, capital de Colombia, se ubica en el centro del país, en la cordillera oriental, tiene una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente, cuenta con un área de 1775,98 km² y se encuentra situada en las siguientes coordenadas: Latitud Norte: 4° 35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'5" (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019).

Bogotá cuenta con un mercado de más de 11 millones de habitantes, lo que equivale al 22% de la población nacional, es decir, 49,8 millones de personas en 2018. La inversión está respaldada por su economía sólida y diversa, razón por la cual, la capital reúne el 32 % de las empresas del país, el 57 % de las transacciones financieras y cuenta con un talento humano altamente calificado. Como muestra de ello, el número de multinacionales que han decidido iniciar operaciones en Bogotá se ha multiplicado y, en 2018, un total de 1.504 de estas compañías se ubicaron en la ciudad (Cámara de Comercio de Bogotá,

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

2018). Por otro lado, en la estructura empresarial predominan las microempresas (87,5%) y las Pymes (11,4%), y es precisamente en este contexto en el que se ubican las empresas dedicadas a la producción de pulpas y jugos (Cámara de Comercio de Bogotá, 2018).

De acuerdo con el Registro único empresarial y social (RUES), en la ciudad de Bogotá, existen 30 empresas cuya actividad económica está enfocada en la producción y comercialización de pulpas y jugos de fruta. En la tabla 2 se encuentra la lista de dichas empresas, en la que se indica el número de identificación tributaria (NIT), la dirección y la categoría a la cual pertenece, de igual manera la figura 3 corresponde al mapa con la localización de las empresas productoras de pulpas y jugos en Bogotá.

Tabla 2. Lista de empresas que se dedican a la producción y comercialización de pulpas y jugos en la ciudad de Bogotá

Razón Social	NIT	Dirección	Categoría
Terracota pulpas y frutas S.A.S	900708147 - 9	Calle 75 A # 86 - 27	Persona Jurídica
Jugos naturales mandarán S.A.S	901138293 - 3	Carrera 19A# 22b - 06	Persona Jurídica
Solo pulpas	900572452-4	Calle 71A # 70 c- 24	Persona Jurídica
Cubo Fruta	-	Carrera 59C # 131a - 69	Establecimiento
Fast Fruit S.A.S	830000965 - 3	Carrera 65B # 12 - 59	Persona Jurídica
Naturale S.A.S	900987330 - 6	Carrera 21 43 Sur - 31	Persona Jurídica
Deli pulpas S.A.S	901041695 - 2	Calle 66 C # 123 - 55	Persona Jurídica
Pulpafruit	800164351 - 6	Calle 18 sur # 28 - 42	Persona Jurídica
Pulpas Oni S.A.S	900433477 - 2	Carrera 68G # 21-58 s	Persona Jurídica
Pulpas del tropico S.A.S	800135120 - 8	Calle 10 # 27 este	Persona Jurídica
Pulpas en la Sabana S.A.S	901214655 - 1	Calle 161 A #7f - 40	Persona Jurídica
Pulpas de la granja S.A.S	900428483 - 7	Carrera 82 B# 8c -22	Persona Jurídica
Frutisima	-	Calle 66 # 74 - 47	Establecimiento
Frutas y pulpas congeladas Lery S.A.S	901159689 - 6	Calle 38D SUR #72Q - 78	Persona Jurídica
Pulpas la Valvanera	900409646 - 1	Calle 73 A #70 12	Persona Jurídica
Pulpa express y precocidos S.A.S	900971592 - 9	Carrera 70 B #22 Sur- 63	Persona Jurídica
Pulpas Universales	800150448 - 0	Calle 19 C# 32 - 53	Persona Jurídica
Pulpas y frutas del campo Ltda	830119815 - 1	Calle 43 BIS #78D - 45	Persona Jurídica
Pulpas de frutas la abundancia S.A.S	901159064 - 3	Carrera 1 A # 22 ^a - sur 16	Persona Jurídica
Procesadora y comercializadora de pulpa de fruta Jr. Ltda	900050809 - 1	Carrera 21# 161a -55	Persona Jurídica
Colombiana de pulpas S.A.S	900738712 - 9	Calle 23B Bis #80B- 62	Persona Jurídica
América pulpa S.A.S	901161342 - 2	Carrera 80 # 2 - 51	Persona Jurídica
El edén pulpas y frutas S.A.S	901055179 - 4	Carrera 83 #78 - 34	Persona Jurídica
Al natural pulpas y jugos S.A.S	901054028 - 6	Calle 174 #55 c 63	Persona Jurídica

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Razón Social	NIT	Dirección	Categoría
Colombia frutas y pulpas S.A.S	901265666 - 0	Carrera 25 #26 - 67	Persona Jurídica
Comercializadora de frutas y pulpas la cosecha S.A.S	900821291 - 4	Calle 75D sur #73 H 33	Persona Jurídica
Tropical fruit pulpas y frutas S.A.S	901163916 - 9	Calle 22 A #19 A - 45	Persona Jurídica
Ecopulpa	-	Avenida19# 118 - 95	Establecimiento
Pura Pulpa Hal	-		Establecimiento
Pulpas y frutas Merlow S.A.S	900555189 - 1	Calle 188 # 57 - 54	Persona Jurídica

Autor, 2019

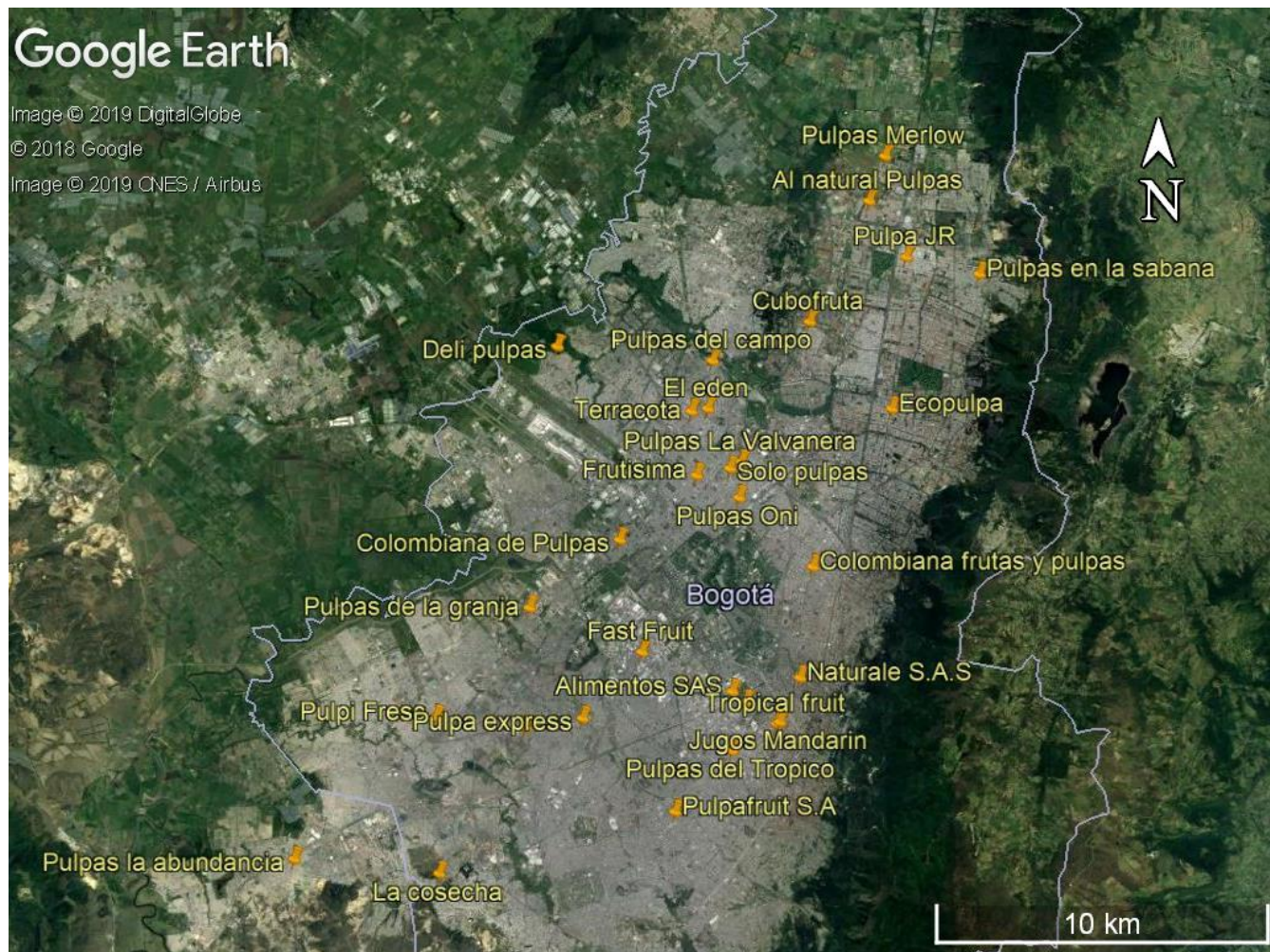


Figura 3. Mapa con la localización de las empresas productoras de pulpas y jugos en Bogotá

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

8.6 Marco institucional

8.6.1 Fedemango

La Federación Colombiana de Productores de Mango, que para todos los efectos podrá denominarse FEDEMANGO, es una organización de carácter gremial compuesta por los productores de mango que dentro del territorio colombiano se afilien como miembros de ella y cumplan con las disposiciones de estos estatutos y del Congreso Nacional de Productores de Mango. FEDEMANGO tiene como objeto la representación, el fortalecimiento, consolidación y la defensa del gremio de productores de mango, su mejoramiento y tecnificación del cultivo de mango (Fedemango, 2019).



Figura 4. Logotipo de Fedemango

8.6.2 Aspromancol

La asociación de Productores de Mango del Colegio), es una organización que se encarga de acoplar productores de mango con el fin de generar un precio justo al momento de la comercialización del producto, sin embargo se encuentra una sub-organización dentro de ASPROMANCOL, la cual es llamada Unidad productiva, que es un grupo de mujeres asociadas a esta organización, que se unen con el fin de buscar nuevas formas de comercialización del mango y deciden para esto la transformación del producto, dentro de este proceso estas mujeres se encargan de la recolecta y transformación del mango, con el fin de generar productos alimenticios artesanales como postres, mermeladas, dulces, entre otros, para comercializarlos en un mercado minorista (Moreno, 2017).

9. Metodología

A continuación, se presenta el capítulo metodológico donde se explicarán las etapas y actividades involucradas en cada objetivo específico, así como la técnica y el instrumento correspondiente para poder cumplir el mismo.

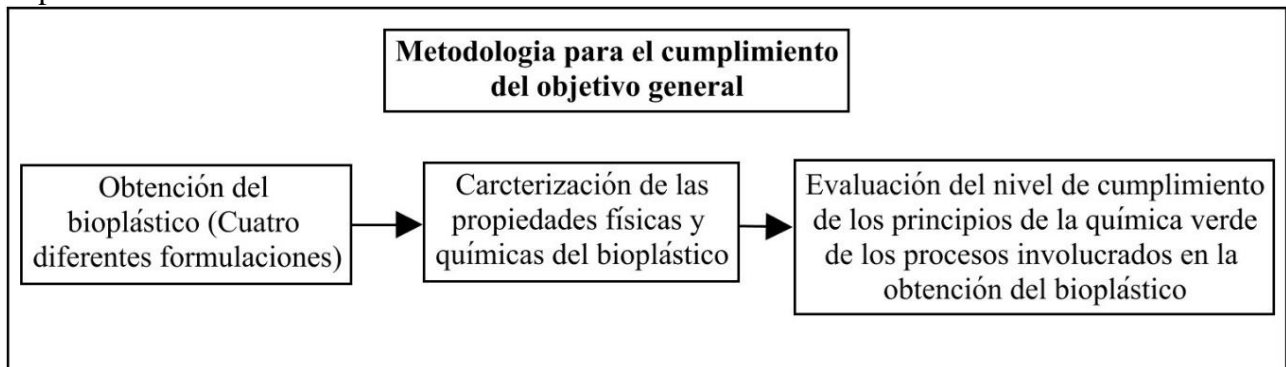


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el objetivo general
Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

9.1 **Objetivo específico 1:** obtener un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*)

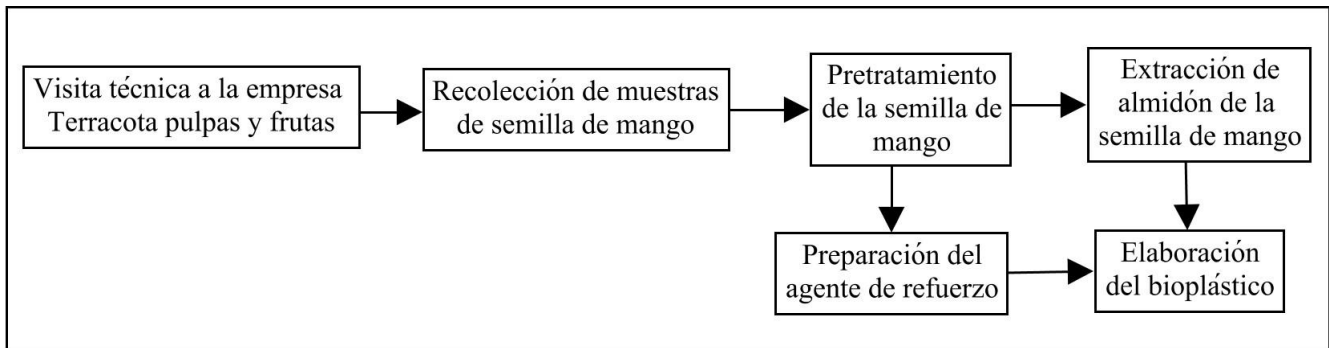


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el objetivo específico 1

Autor, 2019

Fase 1: Identificación de los componentes

9.1.1 *Actividad 1. Recopilación bibliográfica:*

Para la ejecución de esta fase, se procedió a realizar una revisión bibliográfica cuyo fin fue identificar los componentes apropiados para la extracción del almidón de la semilla de mango, la elaboración de bioplástico.

9.1.2 *Actividad 2. Visitas de técnicas*

Para la recopilación de semillas de mango (*Mangifera indica L.*) se realizaron visitas a las empresas procesadoras de fruta, especialmente aquellas que dentro de su portafolio de productos se encuentre como materia prima el mango. De igual manera se procedió a realizar un acta para dicha visita, en la cual se evaluaron 6 aspectos en cuanto al proceso productivo; en el anexo 2 se encuentran descritos cada uno de dichos aspectos.

Fase 2: Extracción de almidón de mango

9.1.3 *Actividad 3. Tratamiento de la semilla*

Se removió el mesocarpio del mango (pulpa) de forma manual con ayuda de una pinza y se extrajo el cotiledón removiendo el endocarpio fibroso (cubierta exterior) con una pinza. Los cotiledones extraídos se pasaron por un molino marca corona, seguidamente, las partículas obtenidas se cortaron con un bisturí, con el fin de obtener una partícula más pequeña. Es importante aclarar que dicho cotiledón debe estar en condiciones óptimas para su posterior tratamiento, procurando que se encuentre fresco y que no presente manchas o puntos negros.

9.1.4 *Actividad 4. Proceso de extracción del almidón*

Este proceso fue llevado a cabo siguiendo el método descrito por (Kaur, Singh, Sandhu, & Guraya, 2004) con algunas modificaciones. 100 g de cotiledones de mango se sumergieron en una solución

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

bisulfito de sodio (NaHSO_3) al 0,16%, por un tiempo de 12 horas a 50°C , para esto, se realizó un montaje de reflujo. El bisulfito de sodio se utiliza como un agente antioxidante, para inactivar las enzimas, evitar la fermentación, prevenir la actividad microbiológica y ayudar al blanqueo del almidón con la eliminación de taninos (García, 2000). A continuación, la solución de NaHSO_3 se retiró y las partículas de cotiledón de mango se licuaron agregando 250 mL de agua destilada. La mezcla obtenida se filtró a través de una tela fina, el material restante es lavado con agua destilada hasta que esta salga completamente clara. La suspensión obtenida se centrifugó a 3500 RPM por 20 minutos. El almidón obtenido se colocó sobre una placa de vidrio de 15cm x 15 cm, para secarlo a temperatura ambiente por 3 horas, finalmente se pulverizó en un mortero.

9.1.5 Actividad 5. Determinación del porcentaje de extracción de extracción

El porcentaje de extracción de extracción fue calculada usando la siguiente ecuación propuesta por (Ferraz, y otros, 2019).

$$\text{Porcentaje de extracción} = \left(\frac{\text{Masa final (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} \times 100 \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Fase 3. Proceso para la elaboración de bioplástico

9.1.6 Actividad 6. Preparación del agente de refuerzo

Se procedió a realizar un agente de refuerzo, a partir del endocarpio y la testa de la semilla de mango. La metodología empleada consistió, básicamente, en triturar dichos componentes en una licuadora hasta lograr el tamaño de partícula más pequeño que se lograra obtener, la única diferencia en cuanto al procesamiento, radica en el tratamiento previo realizado al endocarpio, el cual consistió en secarlo a una temperatura de 105°C hasta alcanzar peso constante. El relleno preparado resulto de la combinación de ambos elementos en una proporción 1:1. En las figuras 23 y 24 se exponen las imágenes tanto del endocarpio como de la testa, después del proceso de licuado. Estas imágenes fueron tomadas con la ayuda de un estereoscopio serie K-400 p

9.1.7 Actividad 7. Obtención del bioplástico

El siguiente procedimiento se estableció tomando como referencia el método descrito por (Ortiz, y otros, 2013) con algunas modificaciones. Se agregó a un vaso de precipitado de 200 mL, 8g de almidón, 75 mL de agua, 11mL de glicerol, agente de refuerzo (0% - 4% - 4,5% - 5% P/P) y 6mL de ácido acético, en este caso vinagre comercial, el cual tiene entre un 3% y un 5% de acidez, se agitó hasta lograr una mezcla homogénea, posteriormente fue colocado en una placa de calentamiento previamente puesta a una temperatura de 285°C y 500 RPM, a medida que la mezcla presente una textura similar a la del engrudo las revoluciones se aumentaron. Se retiró el vaso de la placa calefactora y la mezcla se colocó sobre una superficie de vidrio, previamente engrasada con silicona y se procedió a extender con una varilla de vidrio. Finalmente se deja secar el bioplástico obtenido a 50°C por un tiempo de 24 horas.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

9.1.8 Actividad 7. Determinación del rendimiento de obtención del bioplástico

El rendimiento de obtención del bioplástico fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento de obtención} = \left(\frac{\text{Peso del bioplástico obtenido (g)}}{\text{Peso inicial de la mezcla (g)}} \times 100 \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

9.2 **Objetivo específico 2:** caracterizar las propiedades físicas y químicas del bioplástico

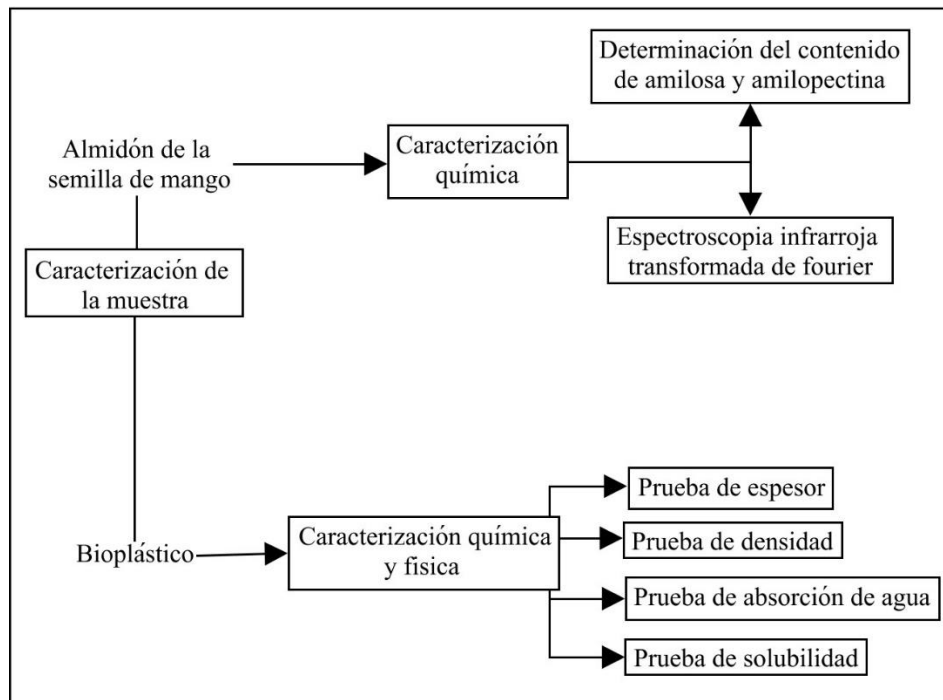


Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el objetivo específico 2

Fase 4. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del bioplástico

9.2.1 Determinación del contenido de amilosa y amilopectina

El análisis se realizó de acuerdo con la metodología descrita por (Hassan, y otros, 2013). Se pesó 0,1 g de almidón de semilla de mango y se adicionó 1 mL de etanol al 99% y 9 mL de NaOH 1 M. Se calentó la solución durante 10 minutos hasta gelatinizar el almidón. Después de enfriarse, se aforó en un matraz volumétrico a 100 mL. Luego se extrajo una alícuota de 5 mL, se añadió 1 mL de ácido acético 1 M y 2 mL de solución de yodo; se aforó a 100 mL dentro de un matraz volumétrico y se lee la absorbancia a 620 nm. Los contenidos de amilosa y amilopectina se calcularon utilizando las ecuaciones (3) y (4) respectivamente:

$$\text{Contenido de amilosa (\%)} = 3,06 \times \text{Absorbancia} \times 20 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{Contenido de amilopectina (\%)} = 100 - \% \text{ amilosa} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

9.2.2 Espectroscopia Infrarroja de Transformada Fourier (EITF)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier es una técnica analítica bien conocida que puede proporcionar información sobre la naturaleza y el contenido de los grupos funcionales y estructurales existentes en un material (Pieri, 1994; Mouillet, Farcas, & Chailleux, 2011). Para llevar a cabo este procedimiento, se empleó un espectroscopio marca Bruker ATR Alpha, con las siguientes condiciones operativas: Rango espectral 4000-400 cm^{-1} , realizándose 24 barridos. Como primera medida, se limpió el cristal de diamante con etanol al 95% y papel de arroz, seguido a esto, se posicionó la muestra que se iba a evaluar, y se bajó el brazo, procurando que la punta de este estuviera en contacto directo con la muestra, en el caso de los materiales sólidos. Finalmente, con el Software Opus, se procedió con la lectura del espectro infrarrojo de la muestra.

9.2.3 Prueba de espesor

De acuerdo con la NTC 595, para la realización de esta prueba es necesario hacer uso de un calibrador pie de rey, el cual es un dispositivo para medir el espesor del espécimen de ensayo. La prueba se realizó por quintuplicado y consistió en medir con el pie de rey el espesor de cada formulación de bioplástico, cada 2 cm, iniciando en una esquina y así sucesivamente hasta llegar a la otra esquina, en total se tomaron 6 mediciones, se sumaron y se promediaron.

9.2.4 Prueba de densidad

La densidad del bioplástico se determinó siguiendo la ASTM D792-91, para esto se cortaron muestra de 2x2 cm, se pesaron en una balanza analítica, luego fueron sumergidas en una probeta 10 mL. La densidad fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \left(\frac{\text{Masa de la muestra (g)}}{\text{Volumen desplazado (mL)}} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

9.2.5 Prueba de absorción de agua

Se realizaron pruebas de absorción de agua en las muestras siguiendo la ASTM D570-98 con modificación, es decir, método de inmersión en agua destilada a 21,5 ° C durante un período de hasta 60 minutos. Las muestras se sacaron periódicamente a diferentes intervalos, es decir, a los 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 60 minutos. Después de sacarlas del agua, todas las muestras se pesaron inmediatamente después de eliminar el exceso de agua de la superficie de la muestra. La cantidad de agua absorbida se determinó calculando el aumento de peso después de la inmersión al 0,0001 g más cercano (Judawisatra, Sitohang, Marta, & Mardiyati, 2017).

9.2.6 Solubilidad en agua

La solubilidad en agua del bioplástico se determinó de acuerdo con el método propuesto por (Jangchud & Chinnan, 1999) con algunas modificaciones. La muestra de bioplástico se cortó en forma

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

cuadrícula con un tamaño de 2x2 cm (doce muestras en total), se pesaron y se secaron a una temperatura de 70°C por 24 horas. Transcurrido este tiempo, las muestras fueron sumergidas en agua destilada en un vaso de precipitado de 50 mL, durante 24 horas a temperatura ambiente. Después se retiraron las muestras y se secaron a 80°C por 24 horas, esto con el fin de determinar el peso del material que fue solubilizado. La ecuación que se emplea para calcular este parámetro es el siguiente:

$$\text{Porcentaje de solubilidad (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde P_i es el peso inicial de la muestra y P_f corresponde al peso final.

9.3 **Objetivo específico 3:** Determinar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde que presenta el proceso de obtención del bioplástico.

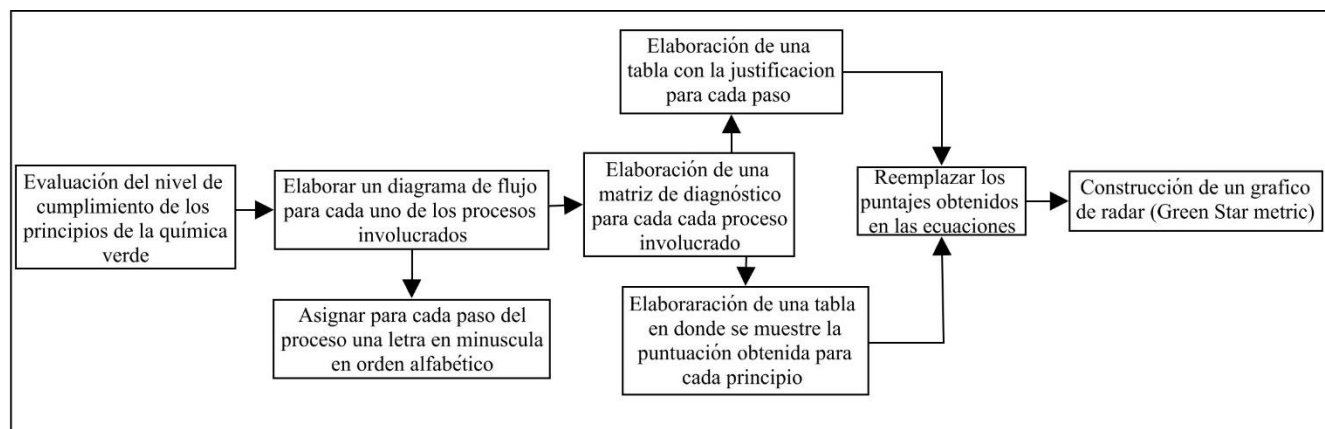


Figura 8 Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el objetivo específico 3

Para evaluar el acercamiento verde, fundamentado en los doce principios de la química verde, del proceso experimental de obtención de bioplástico se adaptaron las metodologías descritas por (Morales, y otros, 2011) y (Ribeiro, Costa, & Machado, 2010).

Como primera medida, se realizó un diagrama de flujo para cada uno de los procesos experimentales involucrados en la obtención del bioplástico, dichos procesos comprometen la extracción del almidón y la elaboración del bioplástico, asignando para cada paso una letra en minúscula, en orden alfabético.

En primera instancia se construyó un diagrama de flujo para cada uno de los procesos experimentales involucrados en la obtención del bioplástico, dichos procesos comprometen la extracción del almidón y la elaboración del bioplástico, asignando para cada paso una letra en minúscula, en orden alfabético. Seguidamente, se procedió a construir una matriz de diagnóstico en donde se evalúan 11 criterios, como lo son, carácter físico o químico, consumo energético (Wh), entradas, salidas, efectos sobre la salud y el medio ambiente, inflamabilidad, reactividad, degradabilidad, renovabilidad y principio de la química verde. Para los criterios de: efectos sobre la salud y medio ambiente, inflamabilidad y reactividad, se indicaron los pictogramas correspondientes a la toxicidad, inflamabilidad, corrosión y daño al medio ambiente, de los reactivos, disolventes, productos y residuos generados en cada paso, por este motivo, se

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

debe tener conocimiento de las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de cada uno de ellos. En relación con el último criterio, la evaluación de los principios se realizó en base a los parámetros consignados en la tabla 4, y cuya puntuación va de 1 a 3, siendo 1, el peor escenario y 3, el mejor.

Seguido a esto, se elaboró una tabla con la evaluación justificada para cada uno de los pasos del proceso experimental, de igual manera, se realiza una tabla con el puntaje obtenido para cada uno de los principios, dicho puntaje es el promedio de los valores .

Para obtener una visión semicuantitativa del acercamiento verde global del proceso experimental de obtención de bioplástico, se hace uso de la métrica holística llamada “Green Star” (estrella verde) propuesta por (Ribeiro, Costa, & Machado, 2010). La idea básica de esta métrica es construir una estrella con un número de esquinas igual al número de principios de química verde que se evalúan, cada esquina con una longitud proporcional al grado de cumplimiento del principio correspondiente apreciando su área: cuanto más grande es el área, mayor porcentaje de cumplimiento tiene el proceso experimental, tal como se puede apreciar en la figura 9. La representación de los resultados obtenidos se realizó en un gráfico de radar utilizando el software SigmaPlot

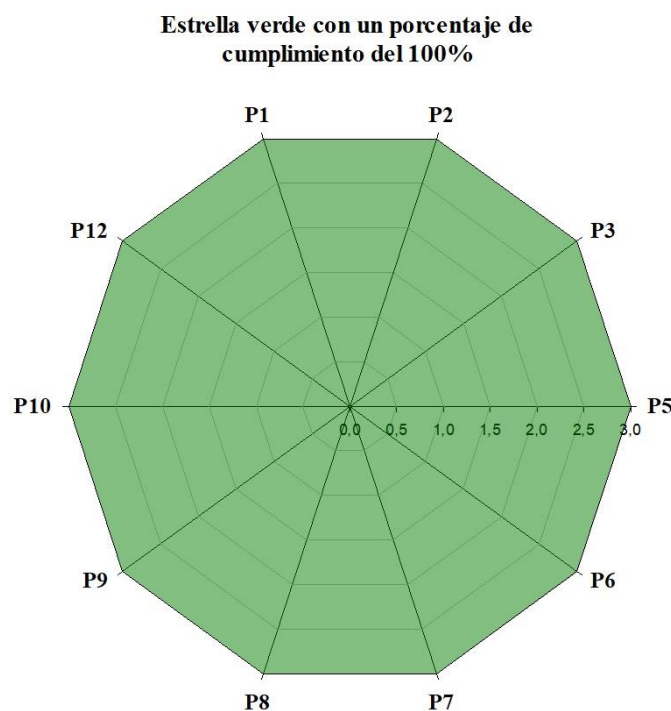


Figura 9. Representación gráfica de la estrella verde con un porcentaje de cumplimiento de un 100%

Autor, 2019

Para determinar el porcentaje de cumplimiento de los principios de la química verde, primero se realizó el cálculo del área de cada una de las secciones de la gráfica de radar (diez en total), mediante la ecuación 7, en donde α toma un valor de 36, este se obtiene al dividir los 360° de la circunferencia entre las 10 secciones. Cada una de estas áreas se sumó para obtener el área total de la estrella verde, lo que corresponde a la ecuación 8. Finalmente para obtener el porcentaje de cumplimiento del proceso

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

evaluado, se reemplazó el valor del área de la estrella verde obtenida en la ecuación 10, en donde el valor del área de la estrella verde completa (Ecuación 9) representa un nivel de cumplimiento total, considerando que todas las puntuaciones obtenidas para cada principio obtienen un valor de 3.

$$\text{Área de la sección} = \frac{((P_i * P_{i+1} - 1))(Sen \alpha)}{2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\text{Área de la estrella verde} = \frac{[\sum_1^{10}(P_i * P_{i+1} - 1)](Sen \alpha)}{2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\begin{aligned} \text{Área de la estrella verde completa} &= \left(\frac{(10 (3 * 3 - 1)) * (Sen \alpha)}{2} \right) \\ &= \left(\frac{80 * (Sen \alpha)}{2} \right) \quad (\text{Ecuación 9}) \end{aligned}$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = \left(\frac{\text{Área de la estrella verde obtenida}}{\text{Área de la estrella verde completa}} \right) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Tabla 3. Interpretación del porcentaje de cumplimiento de los principios de la química verde evaluados en relación con su nivel de acercamiento

Porcentaje de cumplimiento de los principios de la química verde evaluados	Nivel de acercamiento
61% - 100%	Gran acercamiento verde
31% - 60%	Medio acercamiento verde
0% - 30%	Bajo acercamiento verde

Autor, 2019

Tabla 4. Escala de análisis y evaluación

Principios de Criterios química verde	Puntuación
P1 - prevención Los desechos son inocuos	3

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

	Los desechos implican un riesgo moderado para la salud humana y el medio ambiente	2
	Los desechos implican un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente	1
P2 - economía atómica	Reacciones sin exceso de reactivos (<10%) y sin formación de subproductos.	3
	Reacciones sin exceso de reactivos (<10%) y con formación de subproductos.	2
	Reacciones con exceso de reactivos (> 10%) y sin formación de subproductos.	2
	Reacciones con exceso de reactivos (> 10%) y con formación de subproductos.	1
P3 - síntesis química menos peligrosa	Todas las sustancias involucradas son inocuas	3
	Las sustancias involucradas tienen un riesgo moderado para la salud humana y el medio ambiente	2
	Al menos una sustancia involucrada tiene un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente	1
P5 - solventes más seguros y sustancias auxiliares	Los solventes y sustancias auxiliares no se usan, pero si se usan son inocuos	3
	Se utilizan disolventes y / o sustancias auxiliares, pero tienen un riesgo moderado para la salud humana y el medio ambiente	2
	Al menos un solvente o sustancia auxiliar tiene un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente	1
P6 - aumenta la eficiencia energética	Temperatura ambiente y presión	3
	Presión y temperatura ambiente entre 0 y 100 ° C cuando se necesita enfriamiento o calefacción	2
	Presión diferente de la presión y / o temperatura ambiente > 100 ° C o menos de 0 ° C	1
P7 - utilizar materias primas renovables	Todas las sustancias involucradas son renovables)	3
	Al menos una sustancia involucrada es renovable, no se considera el agua	2
	Ninguna de las sustancias involucradas es renovable,	1
P8 - reducir derivados	No se utilizan derivaciones	3
	Solo se utiliza una derivación u operación similar	2

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

	Se utilizan más de una derivatización u operaciones similares.	1
P9 catalizadores	- Los catalizadores no se usan y, si se usan, son inocuos	3
	Se utilizan catalizadores, pero tienen un riesgo moderado para la salud humana y el medio ambiente	2
	Se utilizan catalizadores y tienen un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente	1
P10 - diseño para degradación	Todas las sustancias son degradables y se descomponen en productos inocuos	3
	Todas las sustancias no degradables pueden ser tratadas para hacerlas degradables a productos inocuos	2
	Al menos una sustancia no es degradable ni puede ser tratada para que sea degradable a productos inocuos	1
P12: química más segura para la prevención de accidentes	Las sustancias utilizadas tienen un bajo riesgo de causar accidentes químicos	3
	Las sustancias utilizadas tienen un riesgo moderado de causar accidentes químicos	2
	Las sustancias utilizadas tienen un alto riesgo de causar accidentes químicos	1

(Ribeiro, Costa, & Machado, 2010)

10. Resultados y discusión

10.1 *Objetivo específico 1: obtener un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (Mangifera indica)*

10.1.1 *Visita técnica*

Para la recolección de muestras de semillas de mango fue necesario realizar una visita técnica a una empresa dedicada a la producción de pulpas y jugos de mango, de igual manera se aplicó una encuesta en la cual se evaluaban seis aspectos relacionados con la producción, generación de residuos y disposición final de los mismos.

La visita fue realizada en la empresa “Terracota pulpas y frutas ” ubicada en el barrio Los Pinos en la localidad de Engativá (Figura 10), el día 13 de mayo de 2019. Como primera medida, se realizó un recorrido por las instalaciones de la empresa (Figura 11), identificando el área de producción (Figura 12), área de almacenamiento de residuos y área administrativa. Para la recolecta de las muestras, se tuvo acceso al área de almacenamiento de residuos, ubicada en la parte frontal de la empresa, en donde se evidenció la existencia de un contenedor de plástico, color gris rotulado con la palabra “orgánicos”, cuya capacidad había sido superada, en el momento de la recolección (Figura 13). En segundo término, se

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

aplicó la encuesta a la señora Marina Vega cuyo cargo es jefe de producción. Los datos proporcionados por la señora Vega, con respecto a la cantidad total de materia prima que ingresa y a la cantidad total del producto final, son los valores promedio reportados desde enero hasta abril del año 2019. Paralelamente a esto, la señora Vega, informó que la variedad de mango con la cual se trabaja en la empresa es la denominada “Mango de azúcar”, esta preferencia se debe a los grados brix que presenta, este valor oscila entre 13°Bx y 25°Bx (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), 2010). Los grados brix hacen referencia al porcentaje de azúcar en peso en una solución (Ball, 2006).



Figura 10. Ubicación de la empresa Terracota pulpas y frutas

Autor, 2019



Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Figura 11. Panorama general de la empresa Terracota pulpas y frutas

Autor, 2019



Figura 12. Área de producción de pulpa de mango
Terracota pulpas y frutas, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases



Figura 13. Área de almacenamiento de residuos orgánicos

Tabla 5. Acta de visita técnica a la empresa "Terracota pulpas y frutas"

	Acta de visita técnica	Fecha
	Terracota pulpas y frutas	Versión 1
Nombre proyecto: Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (<i>Mangifera indica</i>) con aplicación potencial en envases		
Objetivo: Recopilar información acerca del proceso productivo del mango en la empresa Terracota pulpas y frutas		
Responsable : Maria Alejandra Ortiz Ramirez		Cedula: 1018493872
Nota: Los datos recopilados en cada uno de los aspectos evaluados serán usados para adelantar la investigación en curso con fines exclusivamente académicos		
Aspecto evaluado	Comentario	
Cantidad total de materia prima que ingresa al proceso productivo del mango	719 kg/mes (Valor promedio del periodo comprendido entre Enero y Abril del año 2019)	
Cantidad total del producto final	569 kg/mes (Valor promedio del periodo comprendido entre Enero y Abril del año 2019)	
Frecuencia de producción del mango	3 veces en el mes	
	Relleno sanitario	

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Mecanismo de disposición final de los residuos del mango que se generan	
Cantidad total de residuos que se generan en el proceso productivo del mango	Aproximadamente el 40%
Costo del mecanismo de disposición final de los residuos mensual	No fue proporcionado

Autor, 2019

En la tabla 5 se pueden apreciar los resultados de la encuesta aplicada. Con los datos de cantidad total de materia prima que ingresa y cantidad total de producto, se determinó el promedio de la cantidad total de residuos (cascara y semilla de mango), en términos de masa, que se generó en el periodo comprendido entre enero a abril de 2019, dicho valor se obtuvo al hacer la diferencia entre los datos previamente mencionados, dando como resultado 150 Kg/mes, representando un 20,9% de pérdida en masa, asimismo, se determinó el porcentaje de aprovechamiento de la pulpa correspondiente a un 79,1%.

El porcentaje de pérdida del total de la fruta (20,1%) encontrado en esta investigación, se encuentra dentro del rango sugerido por Ospina y otros, cuyos valores oscilan entre 15% y 36% (Ospina, Hernández, & Lozano, 2012). Por otro lado, el porcentaje de aprovechamiento de la pulpa (79,1%), presento un valor superior al que se reporta en el estudio titulado “*Descripción de las variedades de mango criollo colombiano*”, llevado a cabo por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) junto con la Asociación Hortofrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL), en donde se señala que el porcentaje de pulpa esta entre un 45% y un 77%.

Ahora bien, de acuerdo con el decreto 312 del 2006 “Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital”, la empresa Terracota pulpas y frutas, se puede clasificar como productor grande, que hace referencia a los usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos un volumen superior a un metro cúbico mensual. En este orden de ideas, el volumen de residuos provenientes de la producción de pulpa de mango, generado por la empresa en m³ es de 0,15m³, este valor se obtuvo al realizar la conversión de la cantidad total de residuos (150 Kg) a metro cubico (m³), usando como factor de conversión la densidad del mango (987 kg/m³) determinada por Cortés, Guardiola y Pacheco (Cortés, Guardiola, & Pacheco, 2007).

Pese a que el valor del volumen está por debajo de lo que plantea el decreto, es necesario considerar, que dentro del portafolio de productos que ofrece la empresa, se encuentran catorce variedades de fruta diferentes (fresa, mandarina, uva, limón, piña, mora, feijoa, lulo, guanábana, maracuyá, tomate de árbol, naranja, guayaba y curuba), cada una, con cantidades de generación de residuo y frecuencias de producción variable, además, de acuerdo con la señora Vega, el horario de trabajo es de lunes a viernes, de 8 de la mañana a 3 de la tarde, y todos los días se produce un tipo de pulpa diferente.

En vista de que “Terracota pulpas y frutas”, se encuentra ubicada en la localidad de Engativá, la empresa prestadora del servicio público de aseo encargada de la recolección y disposición final de los residuos, que labora en esta zona es Bogotá limpia. Esta empresa, en su página web www.bogotalimpia.com, proveen información acerca de las tarifas para cada uno de los usuarios, en este caso, el monto total es de \$49,916 pesos Colombianos.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

10.1.2 Extracción de almidón de semillas de mango

La semilla de mango está constituida por cuatro partes, el endocarpio (1) que se caracteriza por presentar fibras longitudinales que se extienden hacia la pulpa, la testa (2), un tejido delgado, coriáceo, que se encuentra unido a la parte interna del endocarpio, el tegumento (3), la estructura que envuelve los cotiledones y es más grueso que la testa y finalmente los cotiledones (4) que son la parte de la semilla dividida en secciones donde se localiza el embrión sexual y los embriones nucleares (Jiménez & Mora, 2004). En la figura 14 se pueden observar cada uno de los componentes señalados anteriormente.



Figura 14 Componentes de la semilla del mango

Autor, 2019

Para llevar a cabo la extracción del almidón de la semilla de mango se siguió el diagrama de flujo que se muestra en el anexo 3. Como primera medida, se realizaron lavados con agua a las semillas, esto con el fin de eliminar la pulpa remanente en su superficie, seguidamente se procedió a retirar el endocarpio fibroso (1) con una pinza, de igual manera la testa (2) y el tegumento (3) se retiraron, hasta finalmente obtener el cotiledón. La selección de dichos cotiledones consistió principalmente en descartar aquellos que presentaban signos de descomposición, tales como, presencia de puntos negros o manchas marrones o negras.

A los cotiledones seleccionados se les redujo el tamaño con ayuda de un molino y un bisturí, de esta manera, se obtuvieron pequeñas partículas de cotiledón, las cuales fueron sumergidas en una solución de bisulfito de sodio (NaHSO_3) al 0,16% durante un tiempo de 12 horas a 50°C , para esto, fue necesario preparar un montaje de reflujo, este método se utiliza para mantener la temperatura constante y evitar las pérdidas de disolvente (Ying, Del Valle, Valdebenito, & Zacconi, 2015). El bisulfito de sodio es una sal ácida, que se emplea como agente desinfectante (EPA Reg. #1913-24-AA) y como conservante (EPA method #5035), para prevenir la actividad microbiana y reducir el pH (Sun, y otros, 2008). Posteriormente, las partículas de cotiledón fueron retiradas de la solución de NaHSO_3 , con ayuda de un colador, luego, fueron licuadas con 250 mL de agua destilada durante 10 minutos, la pasta resultante, se filtró con una tela fina (filtro para café) a la cual se le realizaron varios lavados con agua destilada. La suspensión obtenida se centrifugó a 3500 RPM durante 15 minutos, el sobrenadante se desechó, y el

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

sedimento obtenido (almidón húmedo) se extendió sobre una lámina de vidrio, para dejarlo secar a temperatura ambiente por un tiempo de tres horas. Finalmente, el sedimento seco (almidón final) se pulverizó en un mortero. De la figura 15 a la 21 se puede apreciar el procedimiento descrito previamente.



Figura 15. Proceso de selección de las semillas
Autor, 2019



Figura 16. Trituración de los cotiledones de mango
Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases



Figura 17. Sumersión en una solución de bisulfito de sodio (NaHSO_3)
Autor, 2019

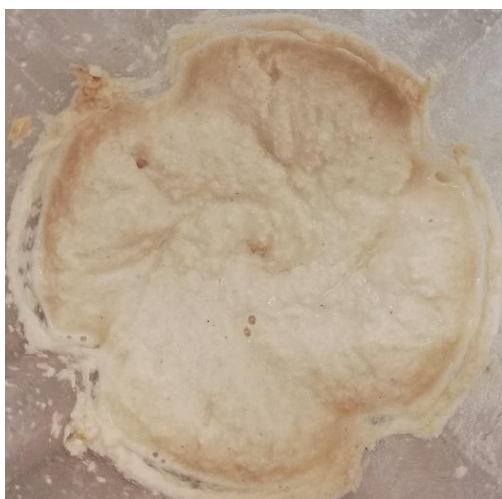


Figura 18. Licuado de los cotiledones de mango
Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

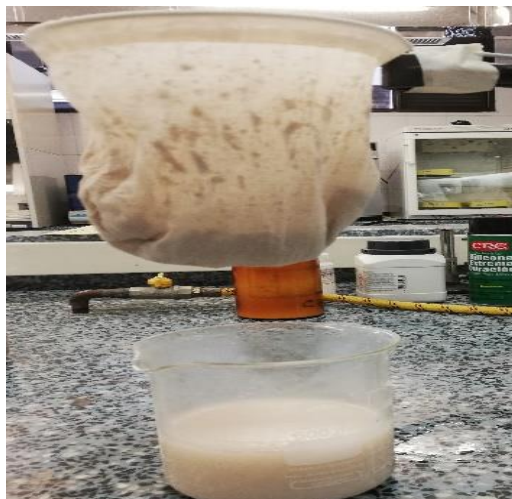


Figura 19. Filtración de la pasta obtenida

Autor, 2019



Figura 20. Secado del almidón obtenido

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases



Figura 21. Obtención de almidón
Autor, 2019

10.1.3 Porcentaje de extracción de almidón

El porcentaje de extracción de almidón obtenida presento valores que oscilaban entre el 21% y 36% dando como promedio un valor de 28,1% como se aprecia en la tabla 6. Este resultado comparado con estudios previos es relativamente menor. Tal es el caso del estudio realizado por Sonthalia y Sikdar quienes extrajeron almidón de tres variedades de mangos indios (Totapuri, Bagenpalli y Sindhoori) alcanzando porcentajes de extracción de 47,45%, 48,42% y 59,06%, respectivamente (Sonthalia & Sikdar, 2015). Por otro lado, tanto Maulida, Kartika, Harahap y Ginting como Ferraz, Fontes, Calado, López y Rocha obtuvieron valores similares, con resultados de 43,2% y 45% respectivamente (Maulida, Kartika, Harahap, & Ginting, 2018; Ferraz, y otros, 2019). Sin embargo, el estudio llevado a cabo por Sharim, Sarifuddin e Ismail, reporto valores similares de porcentaje de extracción de extracción (25,7%) (Shahrim, Sarifuddin, & Ismail, 2018). Los tres primeros estudios, a diferencia de la presente investigación, emplearon un método en el que la duración de sumersión del cotiledón de mango en la solución de NaHSO_3 fue de 24 horas, mientras que en esta investigación el tiempo fue de 12 horas. Por lo tanto, se puede observar que las diferencias en el porcentaje de extracción de extracción pueden estar relacionadas con las metodologías utilizadas, en este caso, se puede considerar el tiempo de sumersión como una variable que alteró el resultado, así como con las características intrínsecas y extrínsecas de la fruta (estado de maduración, factores de cultivo, condiciones climáticas y factores del medio ambiente) (Ferraz, y otros, 2019). Es recomendable realizar una caracterización de la morfología de los gránulos de almidón, puesto que otra de las variables que inciden en el resultado de porcentaje de extracción es el tamaño de dichos gránulos (Izuagie, Hassan, Uba, Achor, & Sahabi, 2012). En la figura 22 se puede visualizar la comparación de los valores de porcentaje de extracción de extracción de los autores previamente citados.

Tabla 6. Porcentaje de extracción de almidón de semilla de mango

Numero de prueba	masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de extracción (%)
------------------	------------------	----------------	------------------------------

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

1	100,2222 ±0,0001	36,8021 ±0,0001	36,7205
2	100,5937 ±0,0001	26,3888 ±0,0001	26,2331
3	100,1048 ±0,0001	21,4075 ±0,0001	21,3851
Promedio			28,1129

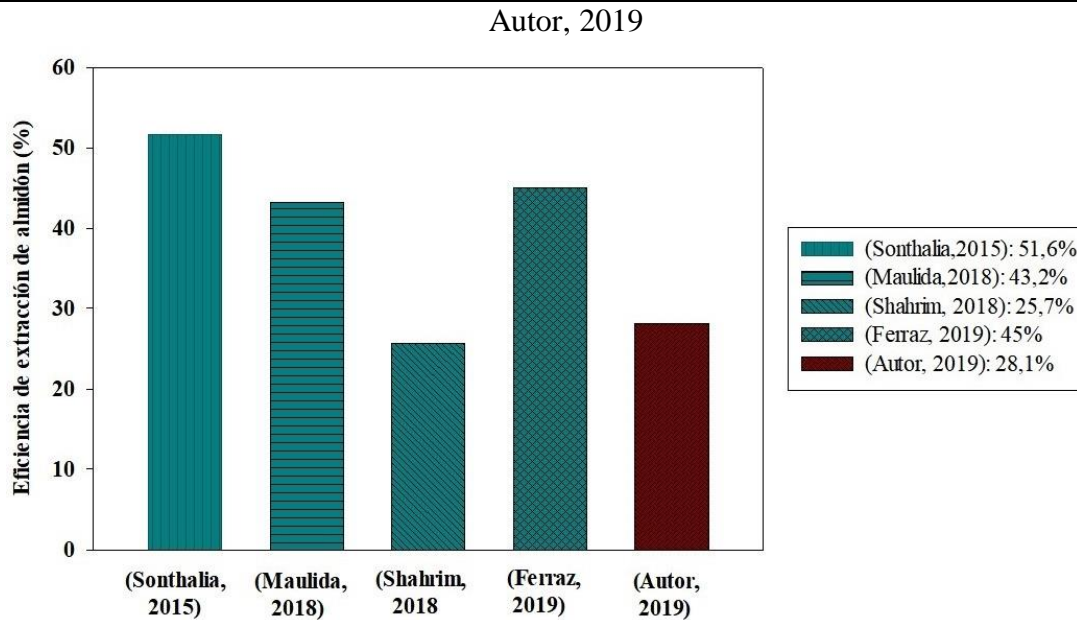


Figura 22. Comparación del porcentaje de extracción de almidón de semilla de mango
Autor, 2019

10.1.4 Preparación del agente de refuerzo

El refuerzo de materiales de base biológica ha sido un tema de interés para la comunidad científica en las últimas décadas, esto se ha evidenciado en la existencia de numerosos estudios, en los cuales, se ha analizado el efecto de diversos agentes de refuerzo, comúnmente citados como “reellenos”, sobre las propiedades y características de películas bioplásticas de diferente origen (Agustin, De Leon, Buenaobra, & Alonzo, 2014).

En los últimos años, el uso de reellenos biológicos y de tamaño nanométrico ha sido vastamente empleado en las investigaciones realizadas. Las ventajas que presenta el uso de reellenos incluyen su carácter renovable, baja densidad, gran abundancia, alta resistencia específica, excelentes propiedades mecánicas, biodegradabilidad, bajo costo, baja naturaleza abrasiva y superficie reactiva para una fácil modificación (Agustin, Ahmmad, Alonzo, & Patriana, 2014).

Algunos de los reellenos de refuerzo comunes son arcilla, talco, sílice, fibra de vidrio, negro de carbón y fibras derivadas de la biomasa (Bigg, 1986). Las fibras de celulosa natural están ganando atención como agente de refuerzo en las matrices termoplásticas. Su baja densidad y una superficie relativamente reactiva pueden mencionarse como propiedades atractivas, junto con su abundancia (Dufresne & Vignon, 1998). El uso de estas fibras de celulosa ha demostrado otorgar una mejora en cuanto a las propiedades

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

mecánicas de las películas bioplásticas, así como, una disminución en la densidad y absorción de agua (Maulida, Siagian, & Tarigan, 2016).

Una fuente potencial de fibras de celulosa son los componentes del endocarpio de la semilla de mango, cuya pared celular está compuesta de fibrillas de celulosa incrustadas en una matriz que se conforma principalmente de sustancias pépticas, hemicelulosas, proteínas, ligninas, solutos de bajo peso molecular y agua. La celulosa es un polímero lineal de (1 → 4) residuos de β -D-glucosa que forman el andamiaje esquelético de la pared celular a través de la formación de microfibrillas, además, es un polímero totalmente hidrofóbico (Jackman & Stanley, 1995).

En el marco de las consideraciones anteriores, se procedió a realizar un agente de refuerzo, a partir del endocarpio y la testa de la semilla de mango. La metodología empleada consistió, básicamente, en triturar dichos componentes en una licuadora hasta lograr el tamaño de partícula más pequeño que se lograra obtener, la única diferencia en cuanto al procesamiento, radica en el tratamiento previo realizado al endocarpio, el cual consistió en secarlo a una temperatura de 105°C hasta alcanzar peso constante. El relleno preparado resultó de la combinación de ambos elementos en una proporción 1:1. En las figuras 23 y 24 se exponen las imágenes tanto del endocarpio como de la testa, después del proceso de licuado. Estas imágenes fueron tomadas con la ayuda de un estereoscopio serie K-400p

Las partículas de testa triturada presentaron una forma irregular, con un tamaño variable y una coloración que va de un tono marrón claro a uno oscuro. En cambio, las fibras del endocarpio presentaron una forma alargada, de la misma manera, con un tamaño variable, y una coloración predominantemente grisácea.

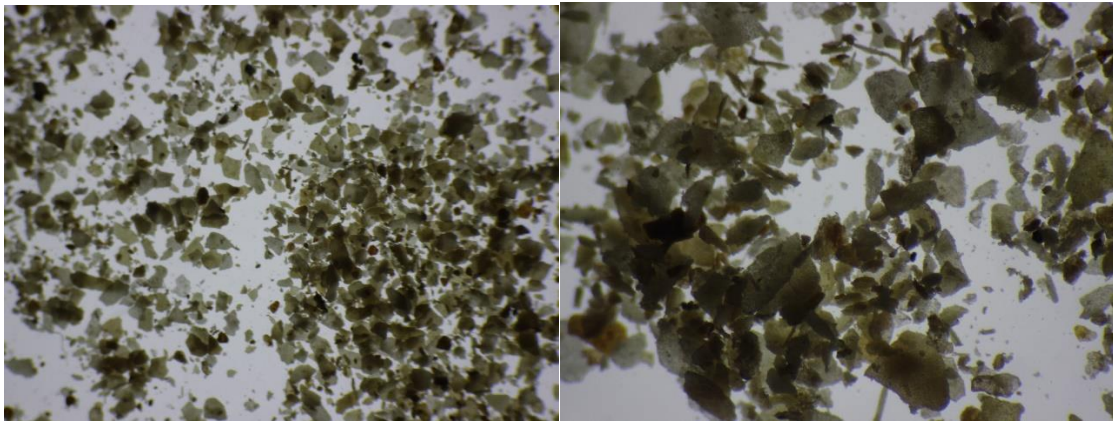


Figura 23. Resultado de la testa triturada vista a través de un estereoscopio serie K-400p

Autor, 2019

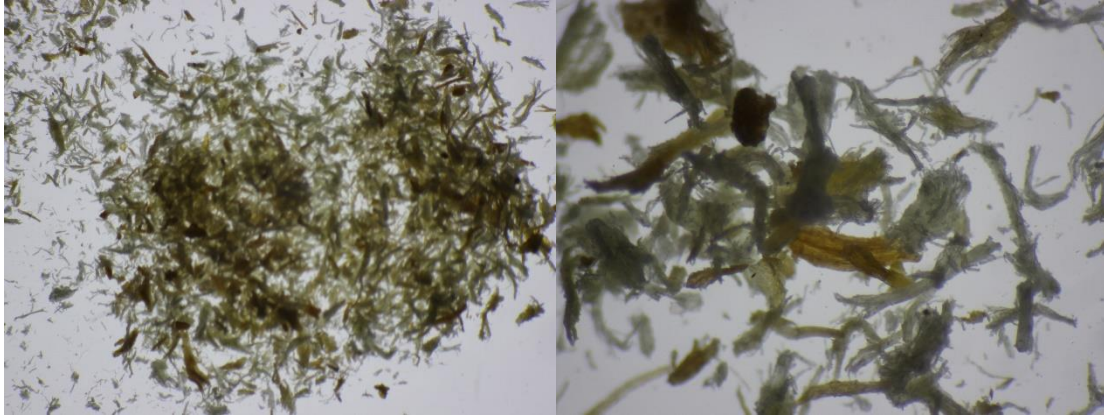


Figura 24. Resultado del endocarpio triturado, visto a través de un estereoscopio serie K-400p

Autor, 2019

10.1.5 Obtención del bioplástico

El diseño metodológico para la obtención del bioplástico consistió dos etapas: acondicionamiento del molde y preparación de la mezcla. A continuación, se explica cada una de estas.

a) Acondicionamiento del molde

Un molde laminar de aluminio, con dimensiones estándar (Anexo 4) es empleado para la obtención de los prototipos de bioplástico. Antes de colocar la mezcla, este debe ser limpiado completamente, con el fin de asegurar una superficie lisa. Luego una ligera capa de silicona desmoldante es aplicada en el molde, para que el bioplástico no se quede adherido a este último.

b) Preparación de la mezcla

En un vaso de precipitado de 200 mL, fueron añadidos almidón, celulosa, glicerol, agua y vinagre en las composiciones señaladas en la tabla 7. Esta mezcla se removió con una varilla de vidrio hasta disolver totalmente el almidón, con el propósito de conseguir una solución homogénea. Después, el vaso con la mezcla es colocado en una plancha de calentamiento, previamente puesta a una temperatura de 285 °C y 500 RPM, a medida que la mezcla presento una textura similar a la del engrudo las revoluciones se aumentaron. Se determinó que el proceso de gelatinización sucedió a los 15 minutos alcanzando una temperatura de 83,5°C. Inmediatamente se procede a verter el contenido del vaso, teniendo la precaución de usar guantes, en los moldes de aluminio, este proceso se tiene que hacer con agilidad, contemplando que, cuando la mezcla se enfría, se endurece y se pega a las paredes del vaso. Finalmente, los moldes se llevan al horno a una temperatura de 50°C por un tiempo de 24 horas.

En resumen, se realizaron 4 formulaciones diferentes para la obtención de bioplástico, en donde el contenido de celulosa (agente de refuerzo) tuvo diferentes concentraciones (0%, 4%, 4,5% y 5% p/p), mientras que el contenido de los demás componentes fue constante. A la formulación 1 se le denominó Bioplástico de almidón, por otro lado, a las formulaciones 2, 3 y 4 se les denominó Bioplástico reforzado con celulosa.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

En la formación de los bioplásticos, los plastificantes juegan un papel importante, puesto que, afectan la estructura de la película y, en consecuencia, sus propiedades. El fundamento básico de la plastificación es que los plastificantes pueden atraer las moléculas de agua, reducir las interacciones intermoleculares entre las cadenas de biopolímeros y aumentar la flexibilidad de las películas (Ke, Sun, & X, 2001). Las partes activas en plastificantes y almidón son sus partes hidrofílicas, como los grupos hidroxilo. Por lo tanto, algunos polioles como glicerol, sorbitol y etilenglicol se consideran plastificantes idóneos para la producción de películas plásticas de almidón (Mali, Sakanaka, Yamashita, & Grossmann, 2005). De igual manera, el ácido acético actúa como conservante, que debe su acción a la liberación de iones de hidrogeno, se efectividad se basa en reducir el pH del material al que se le añade, dificultando así el crecimiento de determinados microorganismos (Boatella, 2004).

Tabla 7. Diseño metodológico para la obtención de los bioplásticos

Formulación	Nombre	Almidón (g)	Celulosa (g)	Glicerol (mL)	Agua (mL)	Vinagre (mL)
1	Bioplástico de almidón	8,000	0,000	11,00	75,0	5,00
2		8,000	4,000	11,00	75,0	5,00
3	Bioplástico reforzado con celulosa	8,000	4,500	11,00	75,0	5,00
4		8,000	5,000	11,00	75,0	5,00

Autor, 2019

Los prototipos de la formulación 1 (bioplástico de almidón), presentaron una textura lisa y suave, con una alta flexibilidad y adhesión, y una coloración amarilla oscura. En contraste, los prototipos de las formulaciones 2,3 y 4 (bioplástico reforzado con celulosa), exhibieron una textura rugosa e irregular, se percibió un aumento en la rigidez de las muestras, en la medida que el contenido de fibra de celulosa natural aumentaba, la coloración, en general, fue marrón. En la figura 25, se exponen las imágenes de los prototipos obtenidos para cada formulación

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

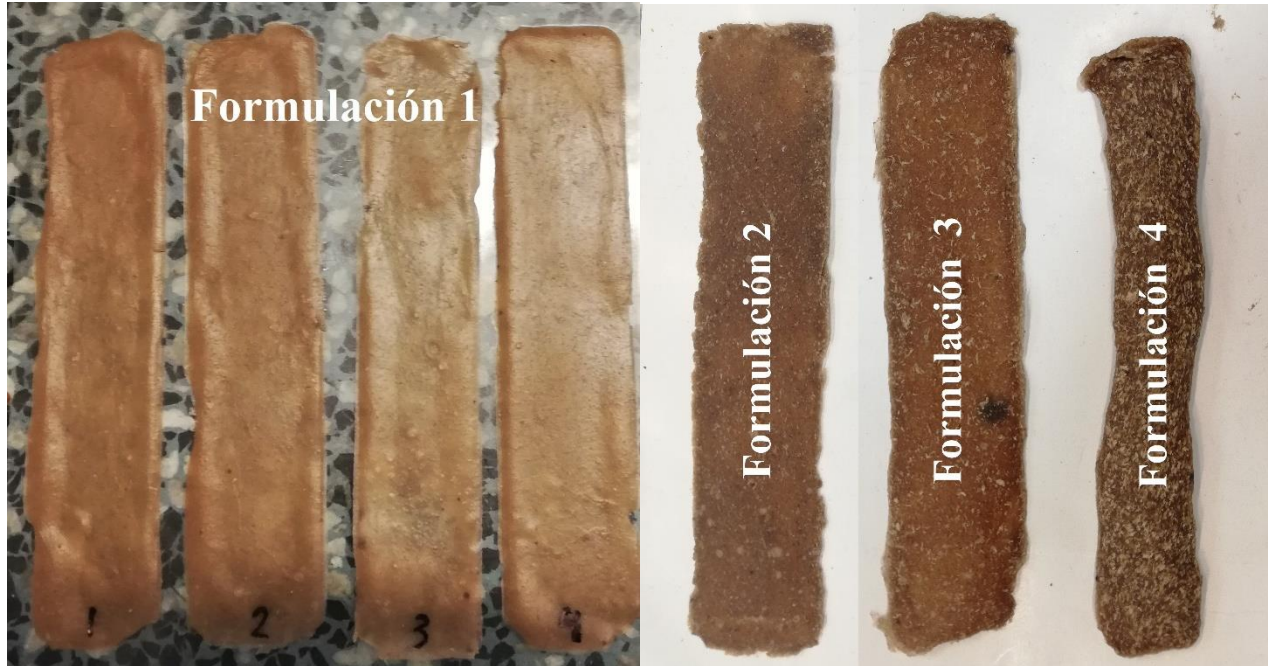


Figura 25. Prototipos finales de los bioplásticos obtenidos

Autor, 2019

10.1.6 Rendimiento de obtención del bioplástico

En lo concerniente al rendimiento de obtención, los datos que se tuvieron en cuenta fueron el peso inicial de la mezcla y el peso final del bioplástico, estos valores fueron reemplazados en la ecuación 2, dando como resultado un rendimiento del 21,4% para el bioplástico de almidón y un 21,8% para el bioplástico reforzado con celulosa. Estos valores no tuvieron una diferencia significativa.

Tabla 8. Rendimiento de obtención de las muestras del bioplástico de almidón

Nombre	Muestra	Peso de la mezcla (g)	Peso del BPL (g)	Rendimiento (%)
bioplástico de almidón	1	100,8211 ± 0,0001	21,2936 ± 0,0001	21,1202
	2	98,2958 ± 0,0001	20,7600 ± 0,0001	21,1199
	3	100,2318 ± 0,0001	22,0184 ± 0,0001	21,9675
Promedio				21,4025

Autor, 2019

Tabla 9. Rendimiento de obtención de las muestras del bioplástico reforzado con celulosa

Nombre	Muestra	Peso de la mezcla (g)	Peso del BPL (g)	Rendimiento (%)
bioplástico	1	98,3168 ± 0,0001	21,9636 ± 0,0001	22,3396
reforzado	2	101,1901 ± 0,0001	20,8445 ± 0,0001	20,5993
con celulosa	3	103,8923 ± 0,0001	23,4144 ± 0,0001	22,5372
Promedio				21,8254

Autor, 2019

10.2 *Objetivo específico 2: caracterizar las propiedades químicas y físicas del bioplástico.*

10.2.1 *Determinación del contenido de amilosa y amilopectina*

El almidón es un polisacárido que consiste en unidades de D-glucosa, denominadas homoglucono o glucopiranosas. Está compuesto por dos macromoléculas diferentes, amilosa y amilopectina. La amilosa es un carbohidrato lineal basado en enlaces $\alpha(1-4)$, por otro lado, la amilopectina es un polímero altamente ramificado que se basa en enlaces $\alpha(1-4)$ pero también en enlaces $\alpha(1-6)$ (Zobel, 1988).

La determinación del contenido de amilosa y amilopectina es relevante en esta investigación, dado que, su comportamiento en presencia de agua y calor influye en la capacidad de formación de la película bioplástica. En este orden de ideas, cuando el almidón se disuelve en agua caliente, comienza a hincharse y romperse, liberando amilosa y amilopectina. Las cadenas lineales de amilosa, en solución, tienen una alta tendencia a interactuar por enlaces de hidrógeno, formando así películas y geles rígidos y fuertes, por el contrario, las cadenas de amilopectina ramificadas presentan poca interacción, en consecuencia, las películas y geles son débiles y flexibles (Mali, Karam, Pereira, & Grossman, 2004).

El método seleccionado para determinar la concentración de amilosa en gránulos de almidón se basa en el supuesto de que la fracción de amilosa tiene afinidad con el yodo para formar complejos, que pueden cuantificarse espectrofotométricamente a 620 nm (Morrison & Laignelet, 1983). Las mediciones de absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro Genesys 5. Una vez calculado el contenido de amilosa, mediante la ecuación 2, el valor obtenido se reemplazó en la ecuación 3 para obtener el contenido de amilopectina. Esta prueba se realizó por triplicado, y los valores hallados en esta investigación se resumen en la tabla 10.

Los resultados del contenido de amilosa oscilaron entre un 12% y un 15% dando como promedio un valor de 14,1%, por otro lado, el contenido de amilopectina tuvo una variación del 85% al 87%, con un promedio del 85,9%. Valores similares fueron reportados por otros autores. Por ejemplo, en la investigación llevada a cabo por Kaur, Singh, Sandhu y Guraya, quienes estudiaron las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, térmicas y reológicas del almidón de cinco variedades de mango indio, encontraron que el valor de amilosa osciló entre un 9% y un 16%, mientras que, el de amilopectina osciló entre 84% y 91% (Kaur, Singh, Sandhu, & Guraya, 2004). Del estudio realizado por Hassan, Muhammad, Aliyu, Idris, Izuagie, Umar y Sani, en donde se caracterizó el almidón de cuatro variedades de mango de Nigeria, los valores reportados para la amilosa oscilaron entre 11% y 16%, en cambio los valores de

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

amilopectina oscilaron entre 84% y 89% (Hassan, y otros, 2013) . Por su parte, Nawab, Alam, Haq y Hasnain, cuyo estudio se enfocó en examinar el efecto de plastificantes de una película biodegradable de almidón de mango, encontraron que el contenido de amilosa fue de 15,2% y el de amilopectina de 84,8%. En las figuras 26 y 27, se puede apreciar la comparación de los valores de amilosa y amilopectina previamente citada.

Tabla 10 Contenidos de amilos y amilopectina del almidón de semilla de mango a partir de la absorbancia

Numero de muestra	Absorbancia	Amilosa	Amilopectina
1	0,246	15,0	85,0
2	0,209	12,8	87,2
3	0,236	14,4	85,6
promedio	0,230	14,1	85,9

Autor, 2019

Porcentaje de amilosa obtenido del almidon de la semilla de mango

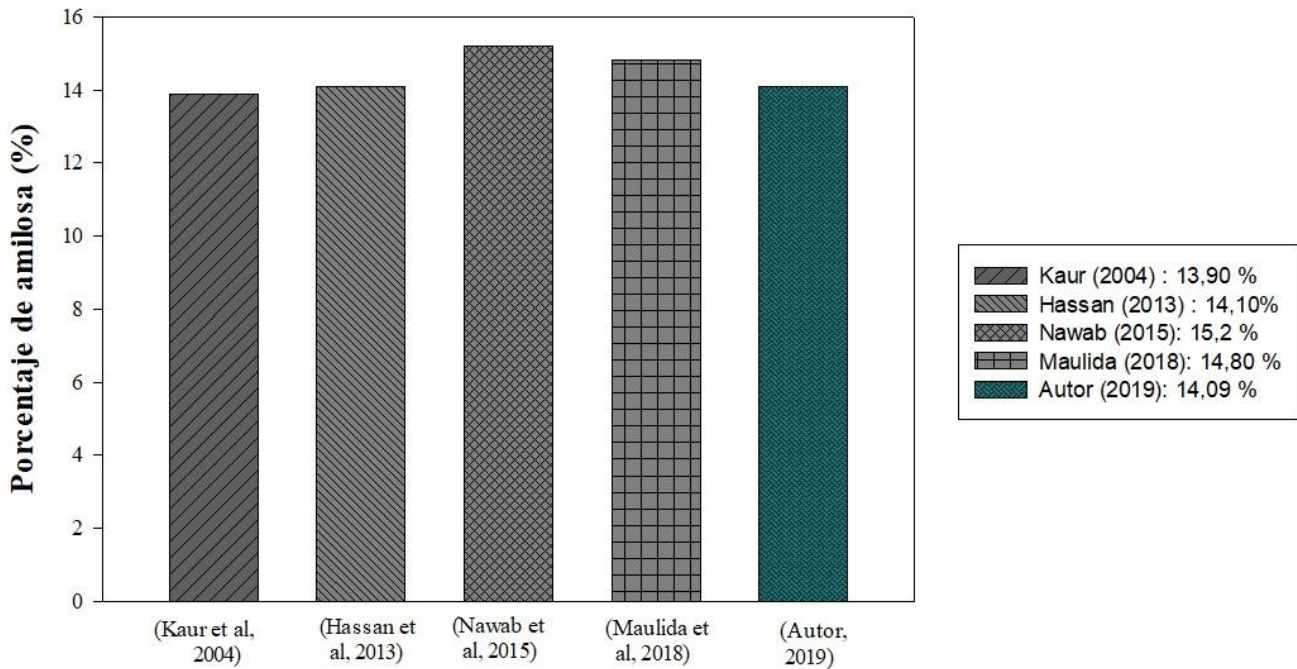


Figura 26. Comparación del porcentaje de amilosa obtenido, con otros autores

Autor, 2019

Porcentaje de amilopectina obtenida del almidón de la semilla de mango

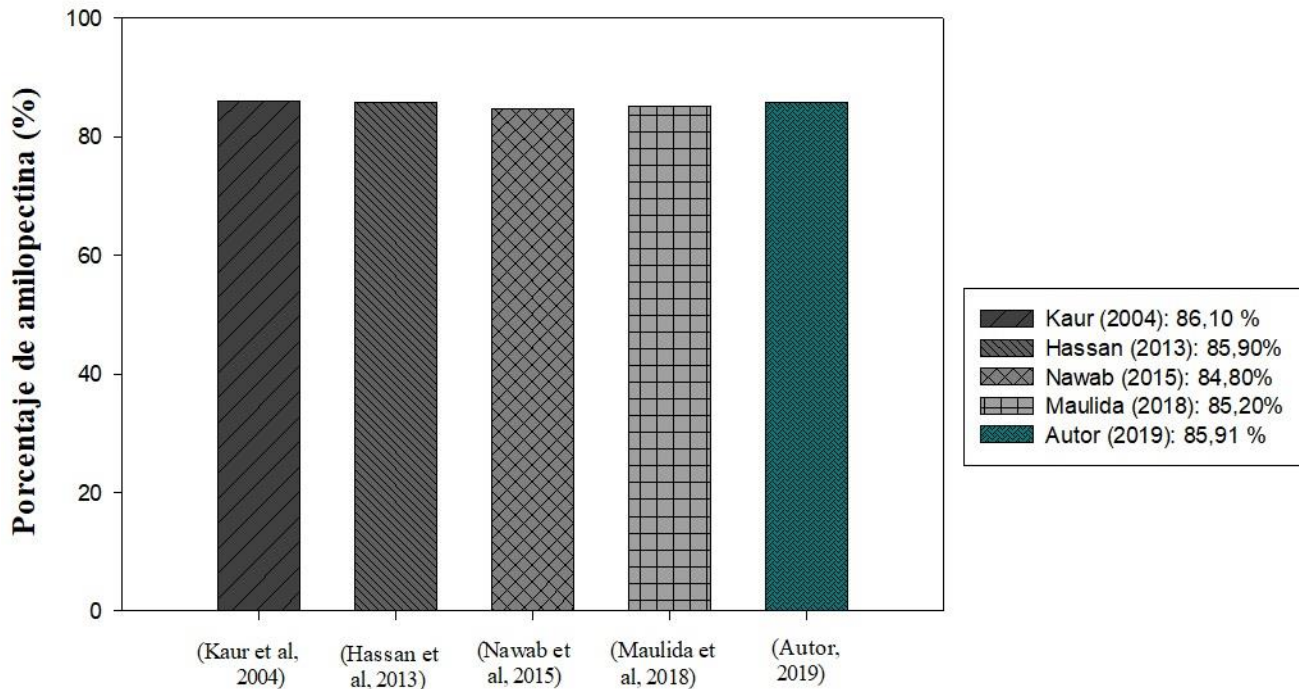


Figura 27. Comparación del porcentaje de amilopectina obtenido, con otros autores

Autor, 2019

10.2.2 Espectroscopia Infrarroja de Transformada Fourier (EITF)

Se corroboró la presencia de grupos funcionales de las muestras de almidón, testa, endocarpio, glicerol, bioplástico de almidón y bioplástico reforzado con celulosa mediante la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier. EITF se utiliza por su método analítico indirecto para estudiar estructuras moleculares y tiene la capacidad de medir grupos funcionales con mayor velocidad y mayor sensibilidad. La interacción entre los componentes del bioplástico se puede identificar a partir de espectros EITF. Si los componentes forman mezclas inmiscibles, entonces no se pueden encontrar cambios apreciables en los espectros EITF. Sin embargo, si los componentes fueron miscibles, existe interacción química entre sus cadenas que culmina en el cambio de los espectros EITF (Pavia, Lampman, Kriz, & Vyvyan, 2009).

Tal como se señaló anteriormente, el almidón es un polisacárido que consiste en unidades de D-glucosa, denominadas homoglucono o glucopiranosas. Está compuesto por dos macromoléculas diferentes, amilosa y amilopectina. La amilosa es un carbohidrato lineal basado en enlaces $\alpha(1-4)$, por otro lado, la amilopectina es un polímero altamente ramificado que se basa en enlaces $\alpha(1-4)$ pero también en enlaces $\alpha(1-6)$ (Zobel, 1988). Su estructura química, se puede visualizar en la figura 28

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

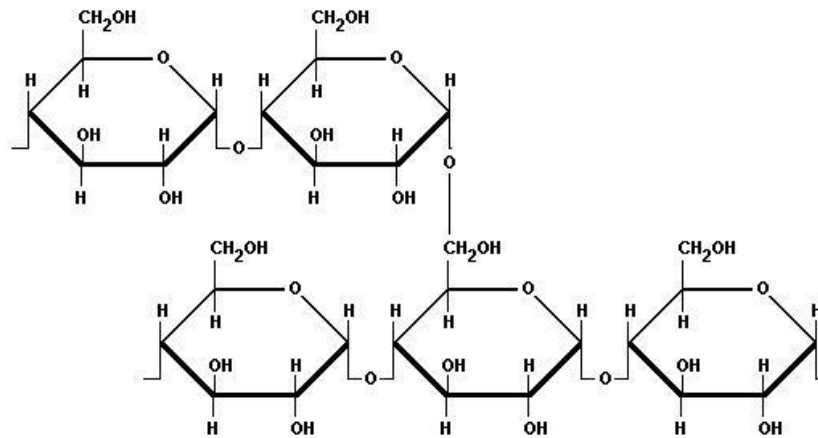


Figura 28. Estructura química del almidón

El pico 760 cm^{-1} (a) es un valor que se atribuye al estiramiento del anillo D-glucopiranosil mientras que el pico de 859 cm^{-1} (b) es un valor esperado para las absorbancias C – H de los anillos D-glucopiranosil. El pico 924 cm^{-1} (c) cae dentro del rango 930 cm^{-1} a 900 cm^{-1} esperado para los modos vibratorios del anillo D-glucopiranosil. El almidón, exhibió un espectro intenso en el pico 1000 cm^{-1} (d), que se pueden atribuir al estiramiento del grupo C-O-H. El pico de 1635 cm^{-1} (e), está en el rango de bandas 1670 cm^{-1} - 1600 cm^{-1} se asignaron a vibraciones de flexión de H_2O (Zeng, Li, Gao, & Ru, 2011). El pico a 1639 cm^{-1} (f), se atribuyen a la presencia de un grupo funcional carbonilo (C = O) en el compuesto carbonilo (Zeng, Li, Gao, & Ru, 2011). Otras bandas de absorbancia que se encontraron en el almidón fueron el estiramiento C-H a 2849 cm^{-1} (g) 2917 cm^{-1} (h), así como estiramiento OH, que ocurrió a 3251 cm^{-1} (i).

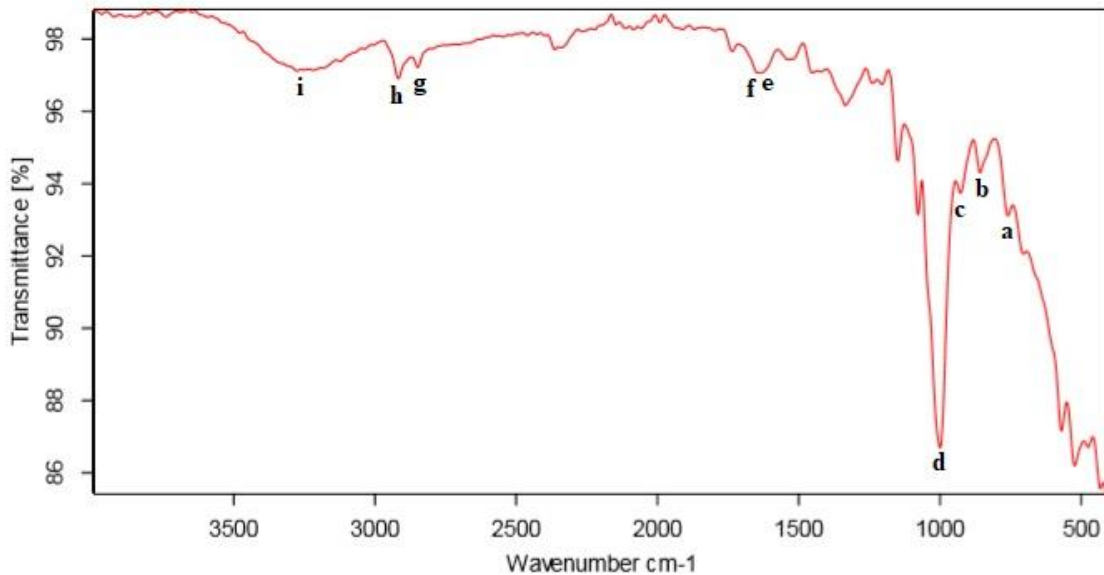


Figura 29. Espectro infrarrojo del almidón de semilla de mango

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

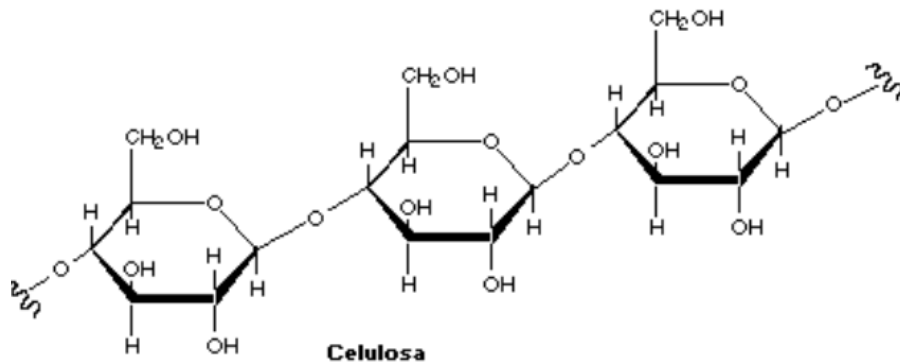


Figura 30. Estructura química de la celulosa

En la figura 31, se muestra el espectro correspondiente a la muestra de testa. Entre los picos presentes, se destaca el de 2916 cm^{-1} (a) y el 2848 cm^{-1} (b), los cuales son atribuidos a vibraciones de estiramiento de los enlaces C-H de la celulosa y la hemicelulosa. Los picos 2361 cm^{-1} (c) y 2337 cm^{-1} (d) corresponden a los enlaces C-O y a vibraciones de estiramientos en grupos C-N. El pico a 1734 cm^{-1} (e) se relaciona con dobles enlaces C=O de cetonas no conjugadas presentes en la hemicelulosa, por otro lado, el pico 1646 cm^{-1} (f) es asignado a la flexión del enlace O-H por la presencia de agua.

En la figura 32, se puede observar el espectro de la muestra de endocarpio. El pico de 3334 cm^{-1} (a), se debe a vibraciones de estiramiento característico de los grupos hidroxilo (O-H). El pico 2920 cm^{-1} (b) se debe al estiramiento de enlaces C-H. El pico 2361 cm^{-1} (c) pertenece a estiramientos de los enlaces C=O. La presencia de lignina se observa por una banda característica en 1595 cm^{-1} (d) y 1505 cm^{-1} (e).

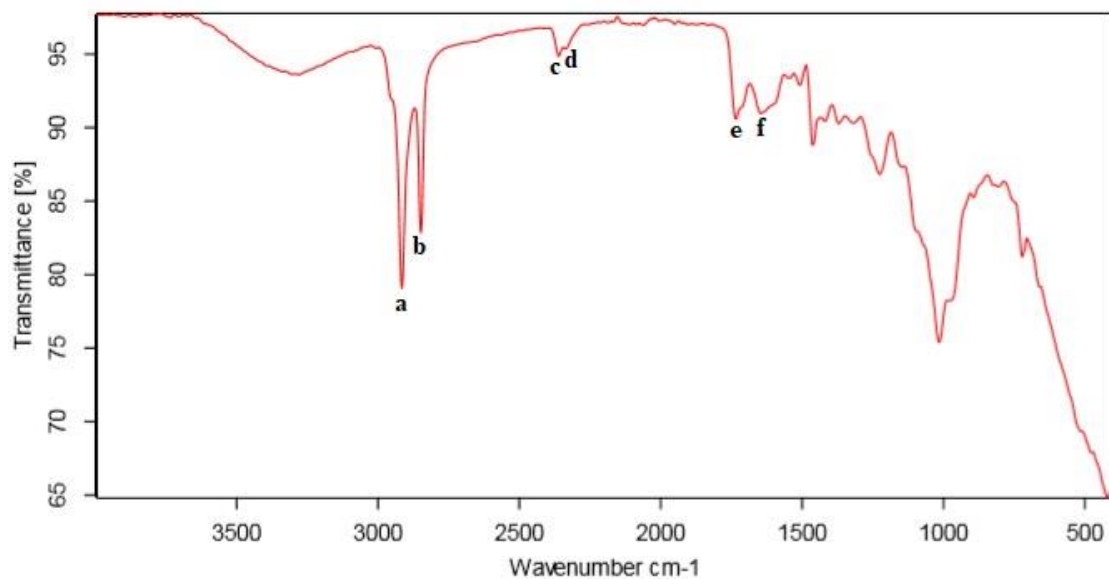


Figura 31. Espectro infrarrojo de la muestra de testa

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

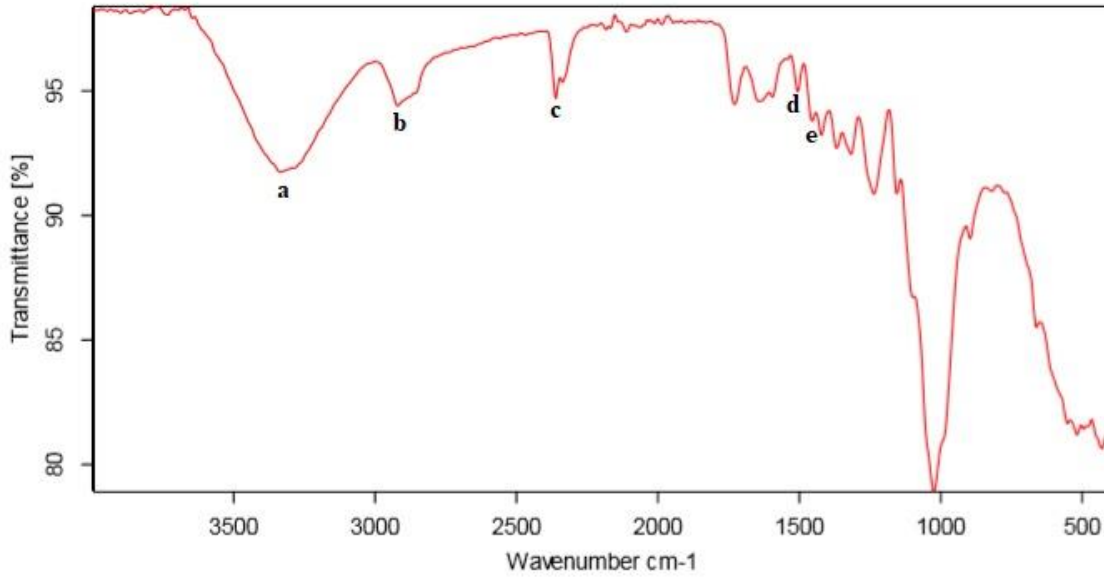


Figura 32. Espectro infrarrojo de la muestra de endocarpio

Autor, 2019

El glicerol, también conocido como 1,2,3 – trihidroxipropano, es un alcohol con tres grupos hidroxilo (Da Silva, Mack, & Contiero, 2009).

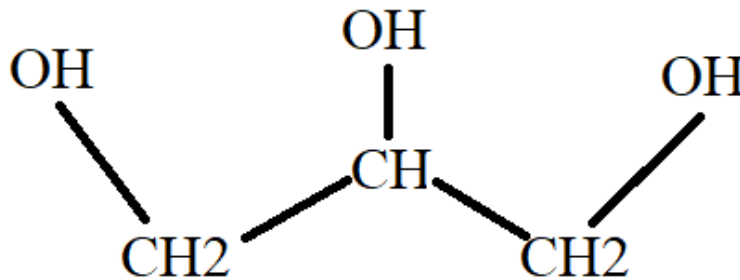


Figura 33. Estructura química del glicerol

Algunos rasgos característicos del espectro de glicerol que se observan en la figura 34, incluyeron el pico a 1032 cm^{-1} (a) y 1109 cm^{-1} (b) (que representa el estiramiento de C-O) y el pico 1418 cm^{-1} (c) (que representa las vibraciones de flexión del enlace C-H). La banda infrarroja principal asociada con el grupo -OH se encuentra en 3283 cm^{-1} (d).

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

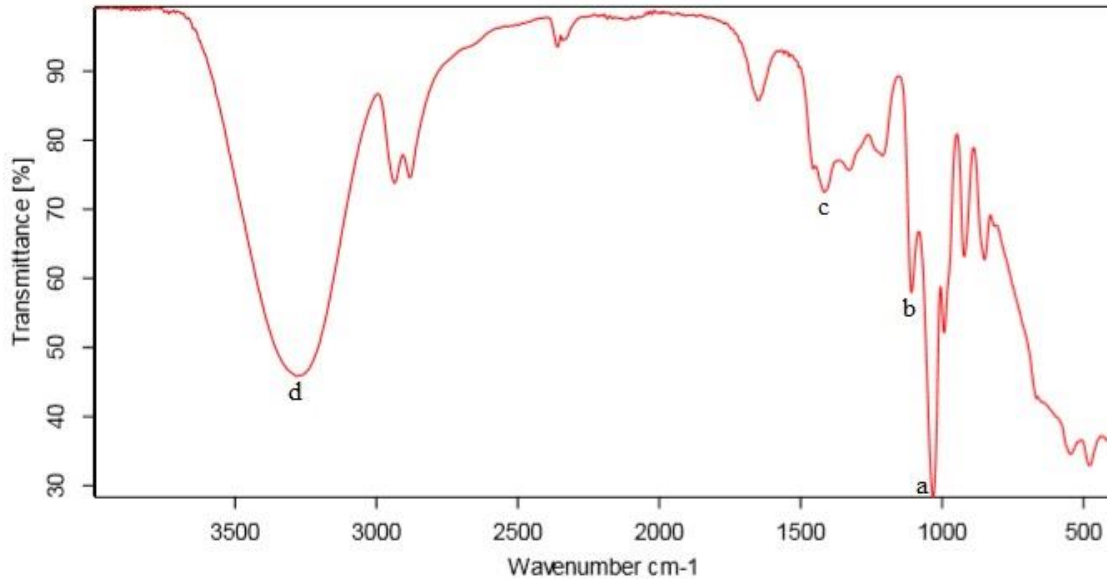


Figura 34. Espectro infrarrojo del glicerol

Autor, 2019

Al realizar una comparación de los espectros obtenidos del bioplástico de almidón (Formulación 1) y el bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 2, 3 y 4) se advierte, que no hay una diferencia relevante. Ambos espectros muestran una banda de absorción ancha, con picos de 3279 cm^{-1} , 3286 cm^{-1} y 3290 cm^{-1} (a), que corresponden a los estiramientos de los grupos O-H. Los picos entre 2930 cm^{-1} y 2929 cm^{-1} y 2924 cm^{-1} (b), conciernen a la vibración del alargamiento de hidrogeno con respecto a los enlaces C-H de la celulosa y hemicelulosa. Entre 1646 cm^{-1} y 1649 cm^{-1} (c), se encuentra una banda de inflexión del OH del agua, lo cual sugiere la presencia de puentes de hidrogeno con la incorporación del glicerol, que actuó como plastificante. Se observa una banda fuerte, en la zona de los picos 1110 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} y 1023 cm^{-1} (d), la cual es característica de los polisacáridos y es atribuida a las deformaciones de tensión de éteres C-O-C de la glucosa y a la flexión de alcoholes.

Esta similitud encontrada en el espectro de las formulaciones de bioplástico 1, 2, 3, y 4, sugiere que para el bioplástico reforzado con fibra de celulosa natural, posiblemente, no hubo una adecuada compatibilidad entre los componentes, esto se puede deber a que el tamaño de partícula de las fibras de celulosa no eran lo suficientemente pequeñas como para poder mezclarse con la matriz polimérica.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

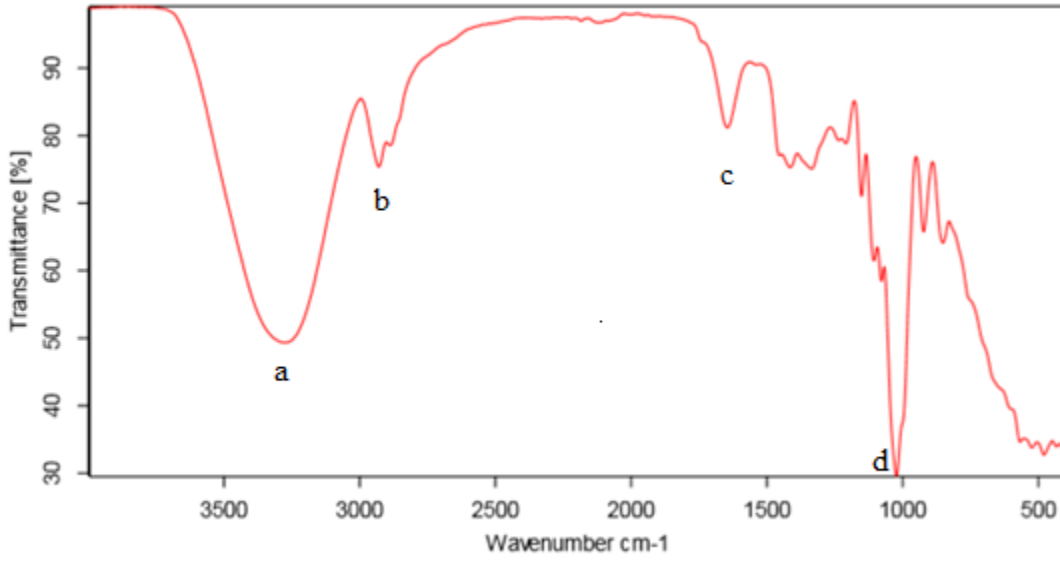


Figura 35. Espectro infrarrojo del bioplástico de almidón (Formulación 1)

Autor, 2019

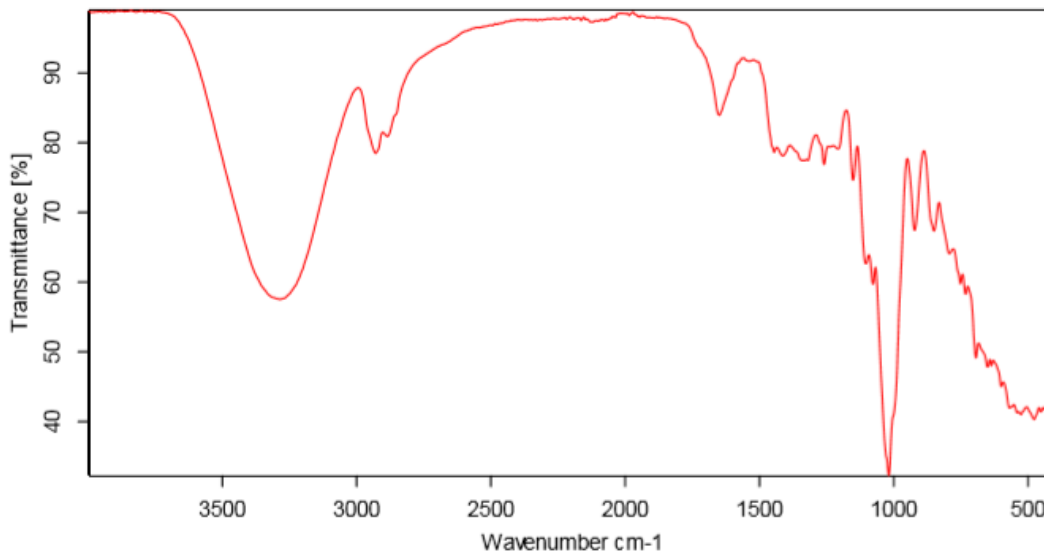


Figura 36. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 2)

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

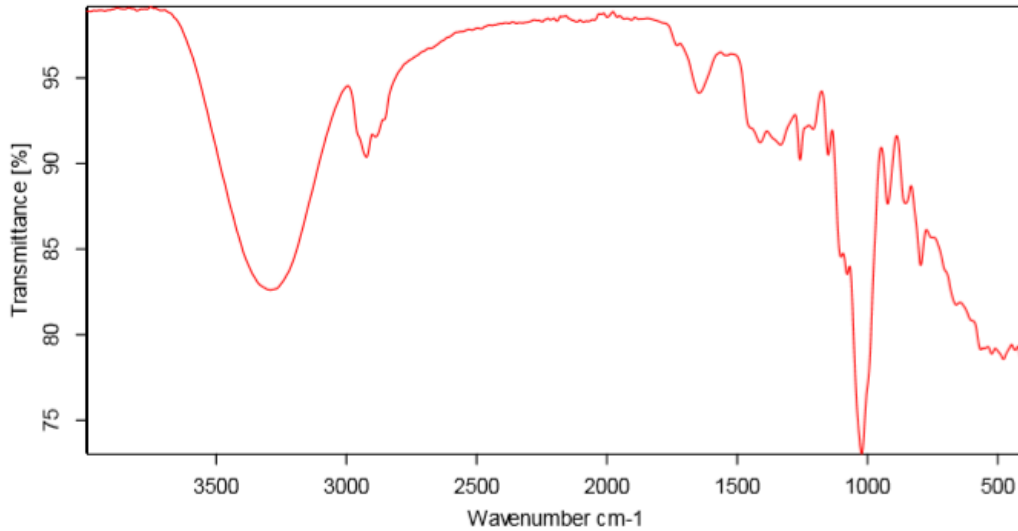


Figura 37. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 3)

Autor, 2019

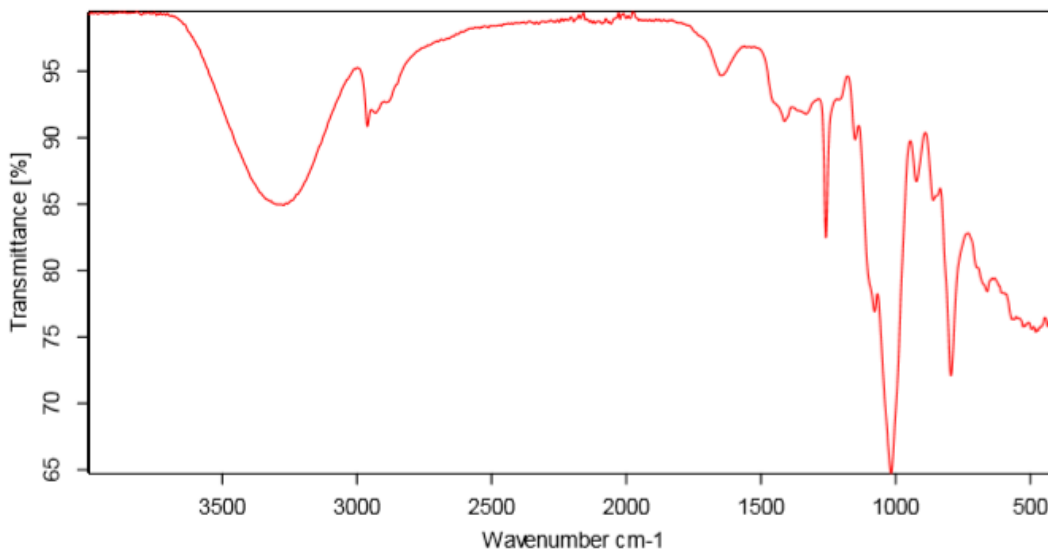


Figura 38. Espectro infrarrojo del bioplástico reforzado con celulosa (Formulación 4)

Autor, 2019

10.2.3 Prueba de espesor y densidad

La densidad de las formulaciones de bioplástico se halló, siguiendo el método establecido por la ASTM D792-91, para esto se cortaron muestra de 2x2 cm, se pesaron en una balanza analítica, luego fueron sumergidas en una probeta 10 mL, seguido esto se registró el volumen de agua desplazado por la muestra. La densidad fue calculada con la ecuación 5. Por otro lado, el espesor de las muestras de bioplástico se midió haciendo uso de un pie de rey, se hicieron 6 mediciones a lo largo de la muestra y se calculó el promedio. En los anexos 5 y 6, está la información complementaria estas pruebas

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

El espesor y las densidades de los materiales obtenidos se muestran en la Tabla 11. El espesor de las formulaciones aumentaba en la medida que el contenido de fibra de celulosa natural, y las densidades variaban entre 1 g/mL y 1,09 g /mL.

El efecto de la fibra de celulosa natural sobre el espesor de cada una de las formulaciones de bioplástico se puede apreciar en la figura 39, en donde, se puede, que a medida que la cantidad de fibra iba aumentando, de igual manera, el espesor aumentaba. Así mismo, la densidad del bioplástico disminuía en la medida que la cantidad de fibra aumentaba (Figura 40)

Tabla 11. Espesor y densidad promedio de las formulaciones de bioplástico obtenido con su respectiva incertidumbre

Formulación	Espesor (mm)	Densidad (g/mL)
1	0,04 ± 0,01	1,09 ± 0,10
2	0,09 ± 0,01	1,02 ± 0,06
3	0,11 ± 0,01	1,01 ± 0,12
4	0,16 ± 0,01	1,00 ± 0,07

Autor, 2019

Resultados del espesor promedio para cada formulación de bioplástico

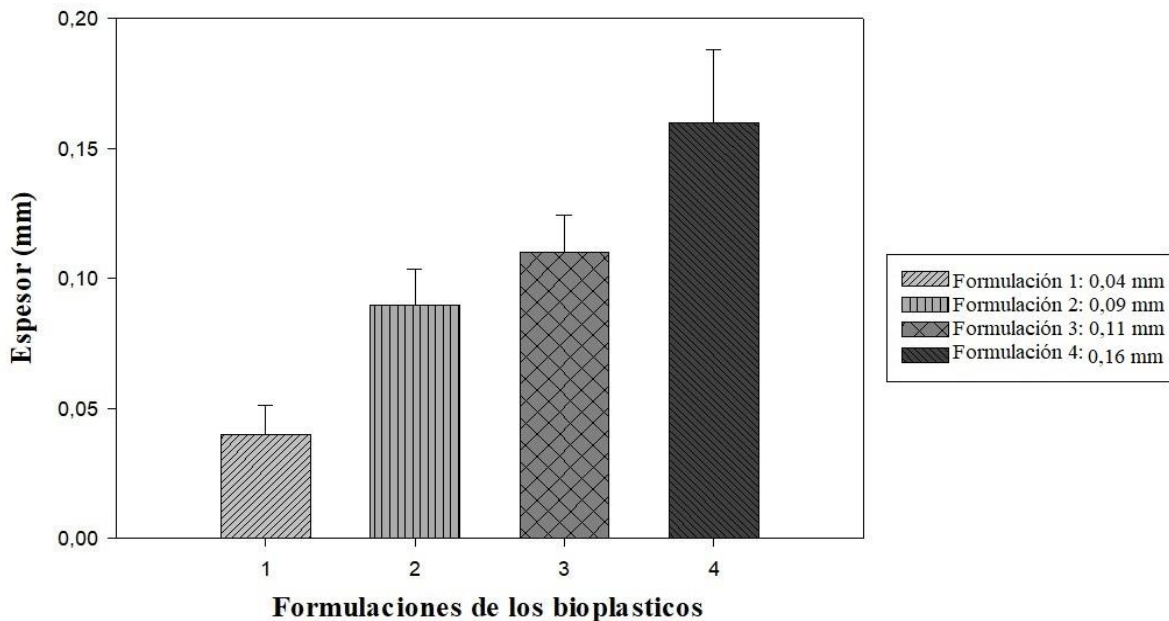


Figura 39. Espesor promedio de cada una de las formulaciones de bioplástico
Autor, 2019

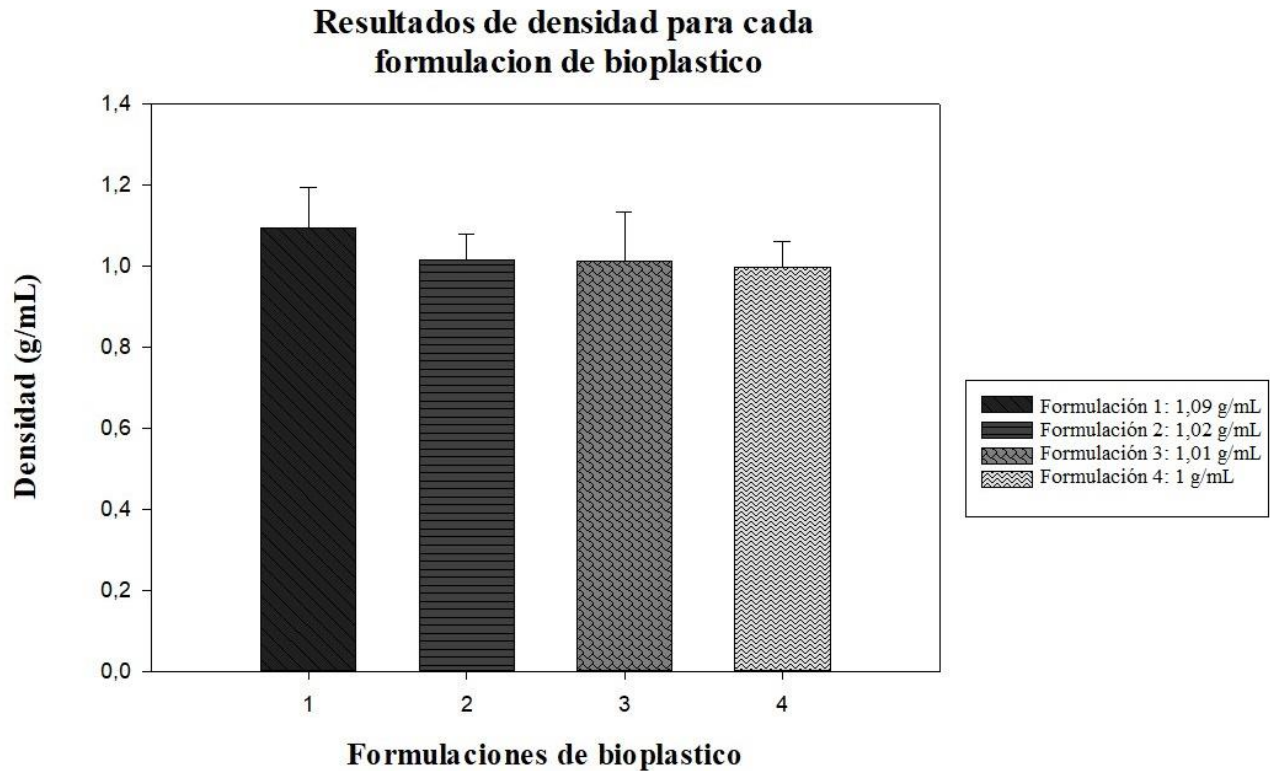


Figura 40. Densidad de cada una de las formulaciones de bioplástico

Autor, 2019

10.2.4 Prueba de absorción de agua

Para cada una de las formulaciones de bioplástico, se determinó el porcentaje de absorción de agua siguiendo la metodología propuesta por la norma ASTM D570-98 con algunas modificaciones. Muestras con un tamaño de 2x2 cm de cada formulación, fueron sumergidas en agua destilada a una temperatura de 21,5°C, por un tiempo de 60 minutos para el bioplástico de almidón, y 30 minutos para el bioplástico reforzado, esta disminución en el registro de absorción para los bioplástico reforzado, se debe a que se evidencio la desintegración de las muestras a partir del minuto 30, conllevando a una perdida significativa de masa. Esta prueba se realizó por triplicado y se registró el aumento de peso durante 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 60 minutos, según fuera el caso. Antes de pesar cada una de las muestras, es de carácter obligatorio, retirar el exceso de humedad.

En la tabla 12, se puede apreciar el comportamiento de tres muestras de bioplástico de almidón (Formulación 1), en cuanto a la ganancia de masa a medida que transcurría el tiempo, de igual manera, se presenta el porcentaje de absorción de agua en base al peso inicial de la muestra. En la tabla 13, se presentan los valores promedio, dando como resultado principal, un porcentaje de absorción total del **71,9%**. De igual manera, en la tabla 14, se muestran los resultados de absorción de agua para el bioplástico reforzado con celulosa, (Formulación 2, 3 y 4), en este caso los porcentajes obtenidos fueron 53,9%, 71,5% y 39,8% respectivamente. La representación gráfica de los datos consignados en las tablas 12, 13 y 14, se muestra en las figuras 41 y 42, a correspondencia.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 12 Resultados de la prueba de absorción de agua del bioplástico de almidón

Tiempo de inmersión (min)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)
0	0,4144	0,0	0,3882	0,0	0,4006	0,0
1	0,5171	24,8	0,482	24,2	0,4912	22,6
3	0,5956	43,7	0,5641	45,3	0,5781	44,3
5	0,6287	51,7	0,5942	53,1	0,6097	52,2
10	0,6741	62,7	0,6225	60,4	0,6437	60,7
15	0,7059	70,3	0,6505	67,6	0,6621	65,3
20	0,7069	70,6	0,652	68,0	0,6705	67,4
25	0,7102	71,4	0,6604	70,1	0,6682	66,8
30	0,7103	71,4	0,6474	66,8	0,6689	67,0
60	0,7199	73,7	0,6693	72,4	0,6794	69,6

Autor, 2019

Tabla 13. Valores promedio de la prueba de absorción de agua del bioplástico de almidón

Tiempo de inmersión (min)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)
0	0,4011	0
1	0,4968	23,9
3	0,5793	44,4
5	0,6109	52,3
10	0,6468	61,2
15	0,6728	67,7
20	0,6765	68,6
25	0,6796	69,4
30	0,6755	68,4
60	0,6895	71,9

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 14. Resultados de la prueba de absorción de agua del bioplástico reforzado

Tiempo de inmersión (min)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje de absorción (%)
0	0,4639	0,0	0,5341	0,0	0,9568	0,0
1	0,5574	20,2	0,6366	19,3	1,0815	13,0
3	0,6282	35,5	0,7301	36,8	1,1772	18,6
5	0,6819	45,1	0,7842	47,0	1,2424	21,7
10	0,7080	51,6	0,8430	58,1	1,3359	29,2
15	0,7039	52,0	0,8682	65,8	1,3923	34,7
20	0,7040	53,0	0,8867	69,3	1,4869	36,6
25	0,7070	53,5	0,9143	70,3	1,5118	37,9
30	0,7103	53,9	0,9150	71,5	1,5316	39,8

Autor, 2019

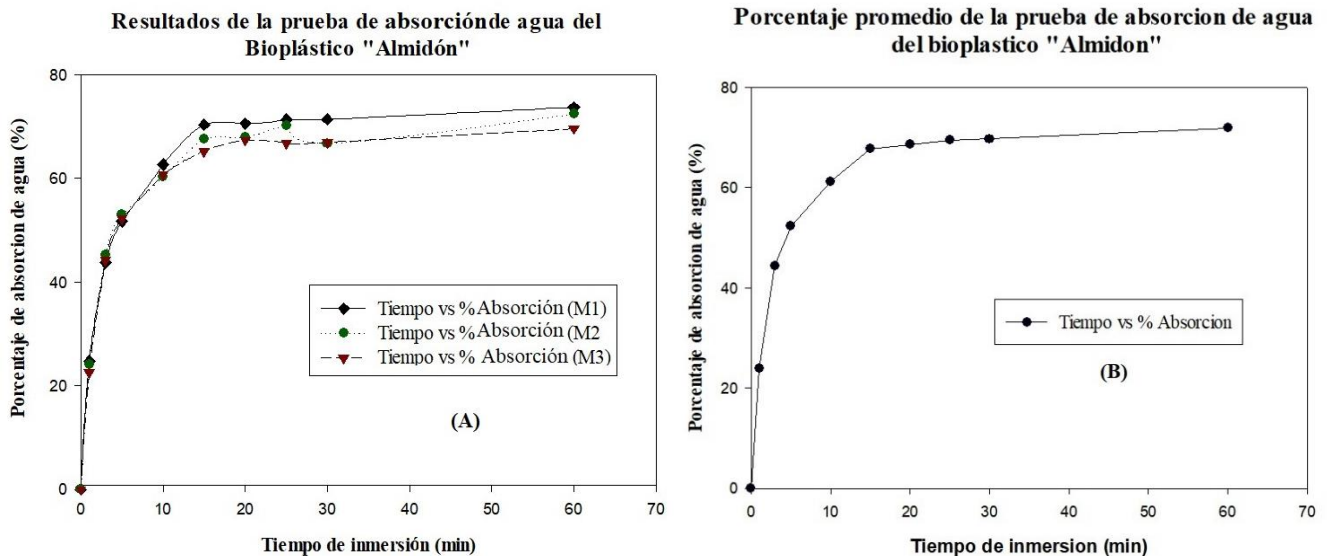


Figura 41. Porcentaje de absorción de agua para bioplástico de almidón

A) Resultado de las tres muestras de bioplástico de almidón. b) porcentaje promedio de absorción de agua de bioplástico reforzado

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

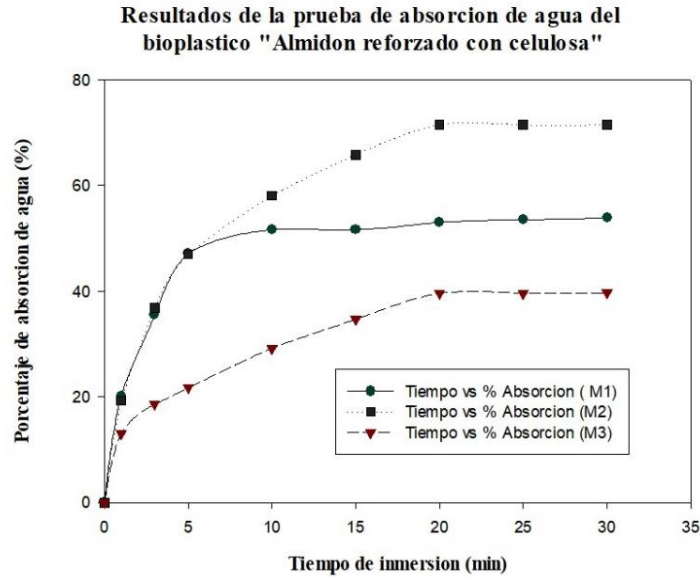


Figura 42. Porcentaje de absorción de agua para bioplástico reforzado con celulosa

Autor, 2019

El efecto del contenido de fibra de celulosa natural sobre la absorción de agua de cada una de las formulaciones bioplástico a base de almidón se muestra en la figura 43. Todas las formulaciones de bioplástico absorbieron agua muy rápidamente durante la etapa inicial y luego se nivelaron gradualmente alcanzando el nivel de saturación después de aproximadamente 30 minutos de inmersión.

La absorción de agua disminuyó a medida que el contenido de fibra de celulosa natural aumentó, este comportamiento se presentó, en las formulaciones 2 y 4, cuyo contenido de fibra de celulosa natural era de 4% y 5% respectivamente. Por el contrario, la formulación 3, manifestó un aumento en la absorción de agua (71,5%) esto se pudo deber a un error sistemático, al momento de retirar el exceso de humedad, en donde se da cabida a dos posibles situaciones, la primera, es que no se haya retirado la totalidad de agua de la superficie de la muestra, y la segunda, es que en la muestra se hayan quedado adheridos residuos del material con el que se retiró la humedad.

La formulación 1 (bioplástico de almidón) mostró una mayor absorción de agua en comparación con las formulaciones 2 y 4 (bioplástico reforzado con celulosa), debido a que, el almidón es más susceptible al agua que la celulosa, debido a su naturaleza hidrofílica (Dufresne & Vignon, 1998). en contraposición, la absorción de agua en las formulaciones 2 y 4 (bioplástico reforzado con celulosa), es significativamente menor, con porcentajes de 53,9% y 39,8%.este resultado puede atribuirse al establecimiento de enlaces de hidrógeno entre la fibra de celulosa natural. Por lo tanto, la interacción a nivel de la interfaz evitó la presencia de vacíos entre ambos componentes, disminuyendo la capacidad de entrada de agua dentro del material

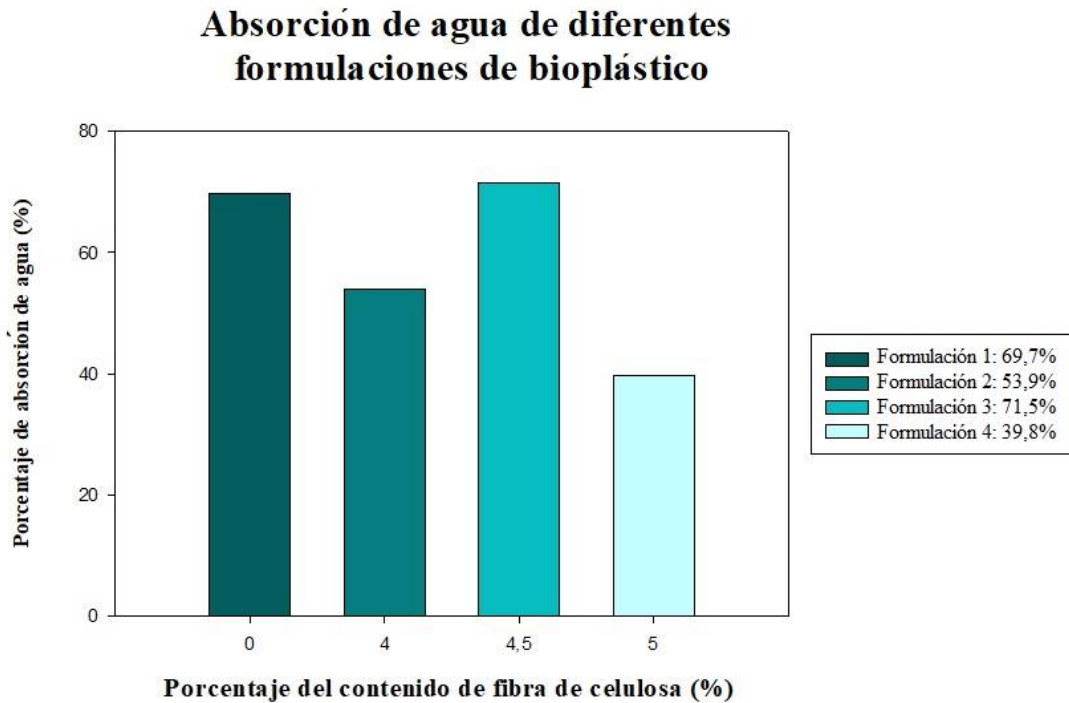


Figura 43. Absorción de agua de cada una de las formulaciones de bioplástico

Autor, 2019

10.2.5 Solubilidad del bioplástico

Para hallar el porcentaje de solubilidad de cada formulación de bioplástico, se utilizaron muestras de 2x2cm, se registró su peso inicial y se secaron a una temperatura de 70°C por 24 horas. Luego, las muestras se sumergieron en agua destilada en vasos de precipitado de 50 mL, los cuales fueron cubiertos con papel vinipel, esto con el fin de que la muestra no tuviera contacto con el ambiente, por un tiempo de 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, el contenido de los vasos se hizo pasar por un papel filtro, para de esta manera obtener la muestra, las cuales, en última instancia, se secaron a 80°C por 24 horas. Del mismo modo, el peso final fue registrado. En la tabla 15 y 16 se encuentran los resultados de esta prueba para cada formulación.

Tabla 15. Resultados de la prueba de solubilidad del bioplástico de almidón

Muestra	Peso inicial Po (g)	Peso final Pf (g)	Solubilidad (%)
1	0,5373 ± 0,0001	0,1908 ± 0,0001	64,49
2	0,4892 ± 0,0001	0,1721 ± 0,0001	64,82
3	0,5204 ± 0,0001	0,1847 ± 0,0001	64,51
Promedio			64,61 ± 0,3

Autor, 2019

Tabla 16. Resultados de la prueba de solubilidad del bioplástico reforzado con celulosa

Formulación	Muestra	Peso inicial Po (g)	Peso final Pf (g)	Solubilidad (%)	Promedio de solubilidad (%)
2	1	0,2922± 0,0001	0,1065± 0,0001	63,55	63,46 ± 1
	2	0,2784± 0,0001	0,1039± 0,0001	62,68	
	3	0,3495± 0,0001	0,1253± 0,0001	64,15	
3	1	0,5749± 0,0001	0,2131± 0,0001	62,93	63,01 ± 0,9
	2	0,4872± 0,0001	0,1775± 0,0001	63,57	
	3	0,6293± 0,0001	0,2358± 0,0001	62,53	
4	1	0,3592± 0,0001	0,1521± 0,0001	57,66	56,92 ± 1
	2	0,3697± 0,0001	0,1603± 0,0001	56,64	
	3	0,3092± 0,0001	0,1346± 0,0001	56,47	

Autor, 2019

Los valores de solubilidad encontrados en esta investigación para las formulaciones de bioplástico son notablemente mayores a comparación de los resultados expuestos por otros autores. Tal es el caso, del estudio realizado por López, García y Zaritzky, quienes compararon la solubilidad de filmes bioplásticos, hechos a partir de almidón de maíz, en función del contenido de plastificante y variación de temperatura, concluyendo que tanto el aumento del plastificante como el de temperatura incrementaba de igual forma la solubilidad, los rangos de solubilidad encontrados oscilaban entre 2% y 28% (López, García, & Zaritzky, 2008). Otro ejemplo que se destaca es el estudio realizado por Laohakunjit y Noomhorm, quienes elaboraron filmes bioplásticos de almidón de arroz y evaluaron el comportamiento de la solubilidad con respecto al contenido de plastificante, puntualizando que un aumento en la concentración de plastificante (glicerol y sorbitol), incrementa la solubilidad, el valor de solubilidad estaba entre 15% y 25% (Laohakunjit & Noomhorm, 2004). Por último, en la investigación llevada a cabo por Chiumarelli y Hubinger, quienes analizaron la solubilidad de cuatro formulaciones diferente de bioplásticos hechos a partir de almidón de yuca, encontraron valores de solubilidad desde 27% hasta 43% (Chiumarelli & Hubinger, 2014).

Sobre la base de las consideraciones anteriormente expuestas, es esencial mencionar, que el factor que incide directamente con la solubilidad de un bioplástico hecho de almidón es el contenido de amilopectina (Barker & Safford, 2009). Cuando el almidón es puesto en contacto con agua caliente, la amilosa forma un gel viscoso, en tanto, la amilopectina absorbe agua y se hincha (Knight, 2001).

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

De acuerdo con los razonamientos que se han venido haciendo, se relacionó el contenido de amilopectina de cada formulación de bioplástico con respecto a su porcentaje de solubilidad, lo anterior se puede visualizar en la figura 44, en donde a medida que el contenido de amilopectina aumentaba, asimismo lo hacía el porcentaje de solubilidad. Cabe mencionar, que el contenido de amilopectina para cada formulación, se obtuvo al dividir la cantidad en gramos de almidón que se aplicó para cada muestra entre el peso total de la muestra y multiplicar este resultado por 100, al valor que se obtiene, se le calcula el 85,9% (Contenido total de amilopectina). En la figura 45, se muestra una gráfica en la que se compara la solubilidad de las formulaciones de bioplástico con otros prototipos de bioplásticos hechos de diversas fuentes de almidón.

De igual manera, se relacionó el contenido de amilopectina del almidón empleado en los tres estudios previamente citados, con su porcentaje de solubilidad, esto con el objetivo de corroborar el planteamiento propuesto por Barker y Safford. En la tabla 17 se presentan los resultados de dicha comparación. De las tres primeras fuentes de almidón (arroz, maíz y yuca) se puede observar que el contenido de amilopectina aumenta, y asimismo lo hace su solubilidad. Sin embargo este contenido hace referencia a la cantidad total presente en una muestra de almidón, mas no del contenido propio de la muestra de bioplástico. Por su parte, el contenido de amilopectina de la última fuente (Mango), fue la que se obtuvo para la formulación 1 de bioplástico, la cual solo contenía almidón.

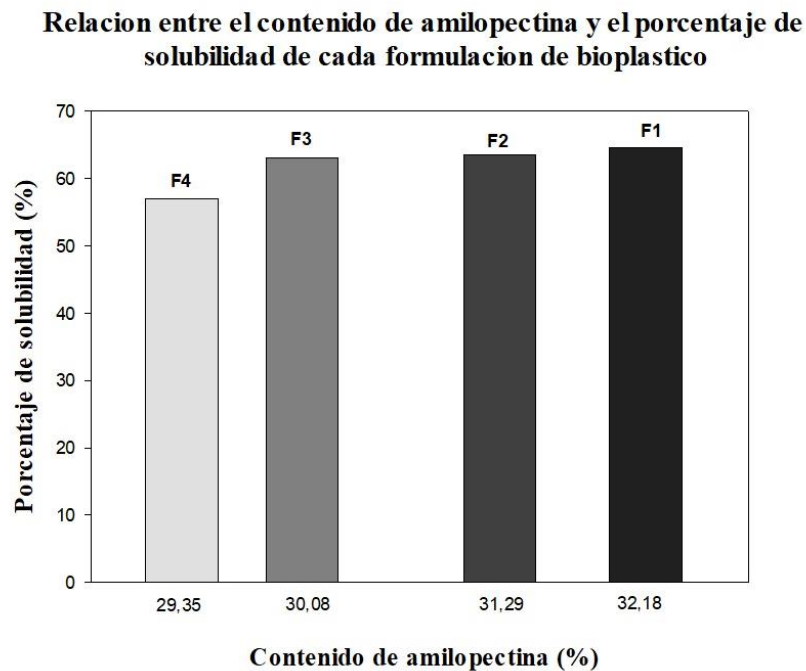


Figura 44. Relación entre el contenido de amilopectina y el porcentaje de solubilidad de cada formulación de bioplástico

Comparación de los valores de solubilidad obtenidos para cada formulación de bioplástico con otras fuentes reportadas

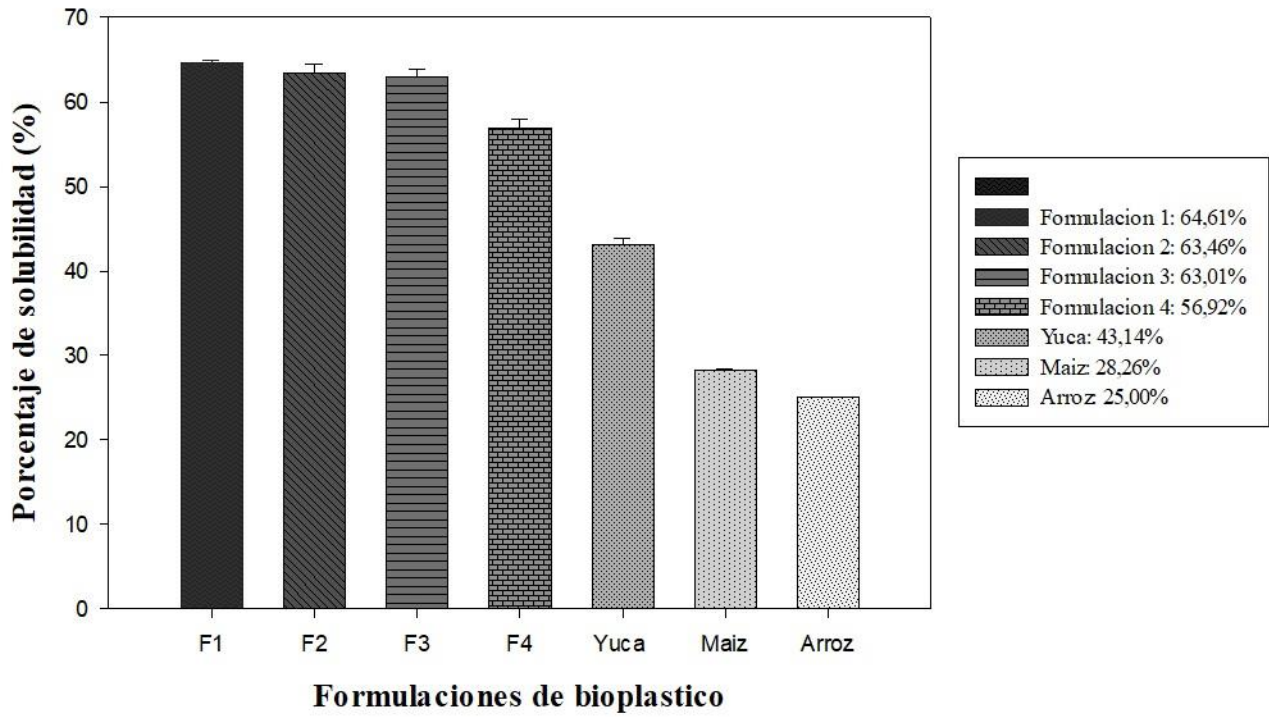


Figura 445. Comparación de los valores de solubilidad de cada formulación de bioplástico con otras fuentes reportadas

Autor, 2019

Tabla 17. Relación entre el contenido de amilopectina y la solubilidad de diferentes fuentes de almidón

Fuente de almidón	Contenido de amilopectina (%)	Solubilidad	Referencia
Arroz	70	25%	(Laohakunjit & Noomhorm, 2004)
Maíz	72	28%	(López, García, & Zaritzky, 2008)
Yuca	83	43%	(Chiumarelli & Hubinger, 2014)
Mango Formulación 1	32,18	64,61%	Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

10.3 Objetivo específico 3: *Determinar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde que presenta el proceso de obtención del bioplástico.*

El concepto de química verde se ha convertido en una herramienta para promover el desarrollo sostenible en diferentes ámbitos que van desde la educación hasta la industria. Los doce principios de la química verde son la base de las pautas dirigidas a aquellos que desean seguir la tendencia de la química verde. Paralelamente, proporcionan un marco para las acciones que se pueden tomar, para hacer que los productos y procesos químicos sean más benignos para el medio ambiente.

La mayoría de los esfuerzos para hacer que los procesos químicos sean más ecológicos enfatizan en la necesidad de usar solventes menos tóxicos, o la eliminación de solventes, y la reducción en el uso de reactivos. Otras acciones incluyen reducir el consumo de energía mediante el uso de condiciones de reacción más suaves, evitando la derivatización y la preferencia por sustratos basados en fuentes renovables (Anastas & Horváth, *Innovations and Green Chemistry.*, 2007)

Uno de los desafíos en la química verde es la evaluación del acercamiento “verde” de los procesos químicos. Es bien sabido que los procesos que no se pueden medir no se pueden controlar. El control en la química verde debe entenderse como una posibilidad para seleccionar la opción más ecológica. El desarrollo y la aplicación de los procedimientos de medición nos permiten comparar el verde de las soluciones existentes con los recién desarrollados. Actualmente se utilizan diferentes factores caracterizados por un nivel diferente de complejidad en la evaluación del impacto ambiental de los procesos químicos (Tobiszewski, Marc, M, Gałuszka, & Namieśnik, 2015)

En virtud de los planteamientos anteriormente expuestos, se propuso un diseño metodológico, que se divide en cuatro etapas, para evaluar el nivel de cumplimiento de los principios de la química verde del proceso de obtención de bioplástico hecho a partir de almidón de semilla de mango. Es importante señalar, que en el protocolo de la química verde no se estipula un número mínimo de principios que deberían cumplirse para que un producto o proceso químico sean considerados como verdes (Morales, y otros, 2011). Ante esto, el principio 4, que hace referencia al diseño de productos químicos seguros, y el principio 11, que tiene que ver con el desarrollo metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real, no fueron tomados en cuenta en la evaluación, puesto que no se involucran directamente con el proceso de obtención del bioplástico.

Como primera medida, se realizó un diagrama de flujo para cada uno de los procesos experimentales involucrados en la obtención del bioplástico, dichos procesos comprometen la extracción del almidón y la elaboración del bioplástico, asignando para cada paso una letra en minúscula, en orden alfabético.

En segundo término, se construye una matriz de diagnóstico, en donde se evalúan 11 criterios, como lo son, carácter físico o químico, consumo energético (Wh), entradas, salidas, efectos sobre la salud y el medio ambiente, inflamabilidad, reactividad, degradabilidad, renovabilidad y principio de la química verde. El valor de consumo energético fue calculado multiplicando la potencia del equipo empleado por el tiempo de uso. En relación con el último criterio, la evaluación de los principios se realizó en base a los parámetros consignados en la tabla 4, y cuya puntuación va de 1 a 3, siendo 1, el peor escenario y 3, el mejor. En tercer lugar, se realiza una tabla mostrando el orden en el cual aparecen cada uno de los pasos experimentales en el diagrama de flujo y la evaluación justificada

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Finalmente, se elaboró una tabla, en la que se transcribe las puntuaciones de los principios evaluados en cada paso, dichos valores se promediaron para obtener una calificación específica para cada principio. Una vez obtenidos estos valores, se procedió a reemplazarlos en la ecuación del área de la estrella verde, así mismo, este resultado, se reemplazó en la ecuación de porcentaje de cumplimiento. Después, se realiza en el software SigmaPlot una gráfica de radar.

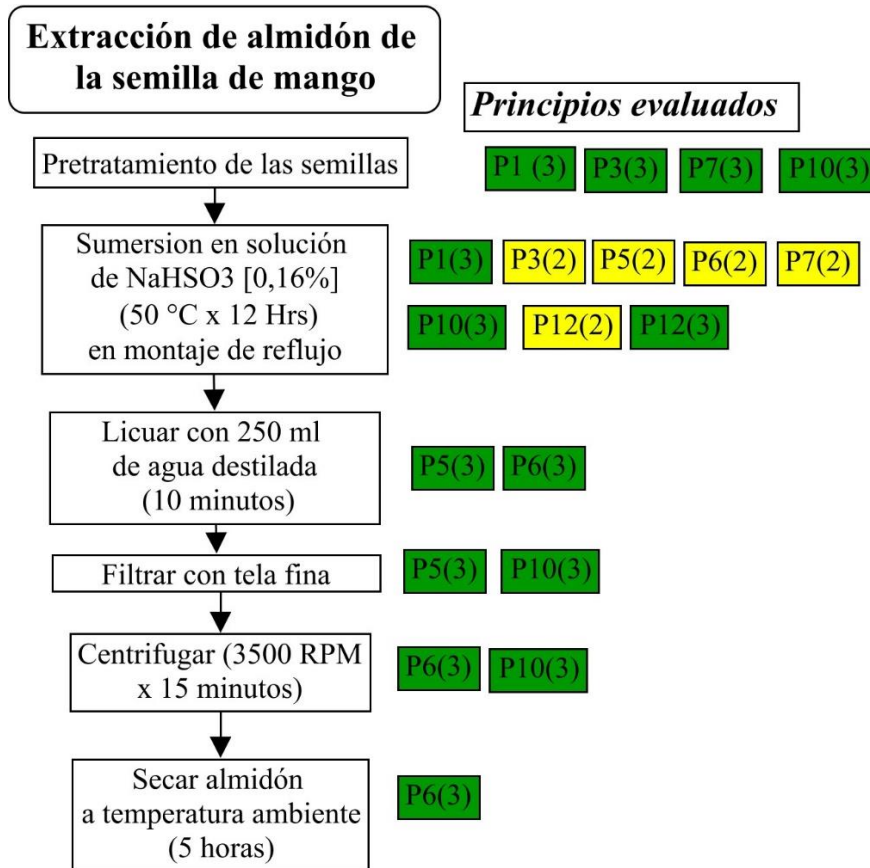



Figura 45. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de semilla de mango con sus respectivos principios evaluados

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 18. Matriz de diagnóstico del proceso de extracción de almidón de semilla de mango

Nombre del proceso		Extracción de almidón de semilla de mango										
						Riesgo a la salud o al medio ambiente		Riesgo de potenciales accidentes químicos		Degradabilidad y renovabilidad de las sustancias involucradas		
Paso		Carácter	Consumo energético (Wh)	Entradas	Salidas	Salud	Medio ambiente	Inflamabilidad	Reactividad	Degradable	Renovable	Principios evaluados
a	Pretratamiento de las semillas	físico	0	6 a 7 semillas de mango	100 g de semilla de mango	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	Si	P1(3) P3(3) P7(3) P10(3)
b	Sumersión en solución de NaHSO ₃ [0,16%] en montaje de reflujo (50°C x 12 Horas)	químico	12336	200 mL de solución de bisulfito de sodio (NaHSO ₃) Concentración [0,16%]	194 mL de solución residual de NaHSO ₃		No presenta riesgo	NO	NO	Si	No	P1(3) P3(2) P5(2) P6 (2) P7(2) P10(3) P12(2) P12(3)

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

				100 g de semilla de mango	106 g de semilla de mango con NaHSO ₃ residual	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	N/A	
c	Licuar con 300 mL de agua destilada (10 minutos)	físico	59,5	150 ml de agua destilada + 106 g semillas de mango con bisulfito	350 ml de una solución coloidal de semilla de mango	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	N/A	P5(3) P6(3)
d	Filtrar con tela fina	físico	0	350 ml de una solución coloidal de semilla de mango	40 g de semilla triturada con restos de (NaHSO ₃)	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	N/A	P5(3) p10(3)
				1000 mL de agua destilada	1000 mL de una solución coloidal de almidón de semilla de mango	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	No	
e	Centrifugar (3500 RPM x 20 minutos)	físico	850	1000 mL de una solución coloidal de	1000 ml de sobrenadante	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	No	P6(3) P10(3)

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

				almidón de semilla de mango	40 - 50 g de almidón húmedo	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	Si	Si	
f	Secar almidón a temperatura ambiente (5 horas)	físico	0	40 - 50 g de almidón húmedo	25-35 g de almidón seco	No presenta riesgo	No presenta riesgo	NO	NO	si	si	P6(3)

Autor, 2019

Tabla 19. Justificación de la evaluación realizada para el proceso de extracción de almidón de semilla de mango

Paso		Justificación
a	Pretratamiento de las semillas	La semilla de mango es un residuo agrícola que se considera renovable, dado que, no se agotara mientras pueda cultivarse el fruto que la produce. Respecto a esto, es oportuno evaluar el principio 7 como totalmente verde, con una puntuación de 3. Por su alto contenido de humedad, se favorece la aparición de microorganismos, que aceleran el proceso de descomposición, y lo reincorpora al medio ambiente. Es un material inocuo, que no afecta ni la salud ni el medio ambiente. Considerando esto, los principios 1 y 3 obtienen una puntuación de 3
b	Sumersión en solución de NaHSO ₃ [0,16%] en montaje de reflujo (50°C x 12 Horas)	El bisulfito de sodio es una sal ácida, que se emplea comúnmente como conservante de alimentos. Se considera una sustancia corrosiva e irritante en contacto con los ojos o la piel, por ende el principio 3 y 5 tienen una puntuación de dos, en vista de que puede afectar la salud humana de forma moderada. El principio 7, tiene una puntuación de 2, puesto que no se considera una materia prima renovable. El bisulfito de sodio en solución no es peligroso, uno de los usos es como agente de declaración del agua residual, además es completamente soluble en agua y presenta una descomposición biológica rápida y una leve absorción en el suelo. De acuerdo con lo anterior, los principios 1 y 10 se puntúan con 3. En vista de que este proceso, tiene un consumo energético de 12336 Wh, y se desarrolla a una temperatura de 50°C, el principio 6 es calificado con 2. El contacto con oxidantes fuertes puede generar calor, fuego, explosiones y/o vapores tóxicos, por esto el principio 12, tiene una calificación de 2.
c	Licuar con 300 mL de agua destilada (10 minutos)	El principio 5 se evalúa 3 , porque el solvente utilizado en este paso es agua . El consumo energético es de 59,5 Wh, un valor notablemente menor que en el paso anterior, esto sugiere que el principio 6 tenga una calificación de 3

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

d	Filtrar con tela fina	El principio 5, se calificó en 3, porque en este paso se emplea agua como solvente, la cual es inocua y degradable
e	Centrifugar (3500 RPM x 20 minutos)	Este paso tiene un consumo energético de 850 Wh, así que, el principio 6 se califica en 3. Tanto el sobrenadante como el almidón son sustancias altamente degradables, de modo que, el principio 10 se valora con 3
f	Secar almidón a temperatura ambiente (5 horas)	El principio 6 tiene una calificación de 3, porque este proceso se lleva a cabo a temperatura y presión ambiente

Autor, 2019

Tabla 20. Promedio de la puntuación de los principios evaluados en el proceso de extracción de almidón de semilla de mango

Principio	Puntuación
P1	3,0
P2	3,0
P3	2,5
P5	3,0
P6	2,8
P7	2,5
P8	3,0
P9	3,0
P10	3,0
P12	2,5

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 21. Datos para el cálculo del porcentaje de cumplimiento

Numero de área	Principios comprendidos	Puntuación de los principios	Área	Área de la estrella verde	Área completa	Porcentaje de cumplimiento (%)	Interpretación
A1	[P1 - P2]	3 ~ 3	2,4				Gran acercamiento verde
A2	[P2 - P3]	3 ~ 2,5	1,9				
A3	[P3 - P5]	2,5 ~ 3	1,9				
A4	[P5 - P6]	3 ~ 2,75	2,1				
A5	[P6 - P7]	2,75 ~ 2,5	1,7	20	24	87	
A6	[P7 - P8]	2,5 ~ 3	1,9				
A7	[P8 - P9]	3 ~ 3	2,4				
A8	[P9 - P10]	3 ~ 2,5	2,4				
A9	[P10 - P12]	3 ~ 2,5	1,9				
A10	[P12 - P1]	2,5 ~ 3	1,9				

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Estrella verde del proceso de extracción de almidón de semilla de mango

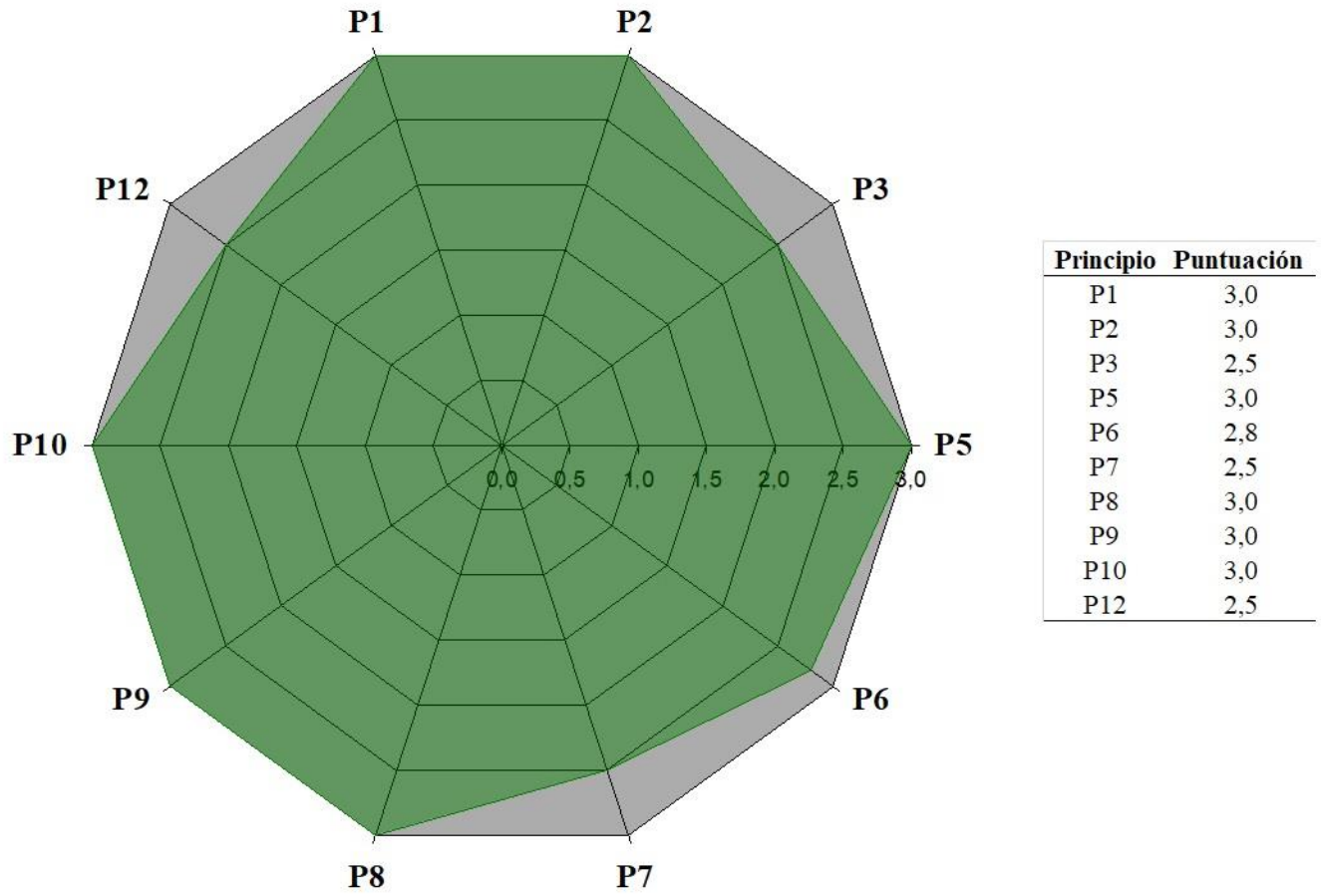


Figura 46. Estrella verde obtenida para el proceso de extracción de almidón de semilla de mango

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Como se puede observar en la tabla 21, el porcentaje de cumplimiento del proceso de extracción del almidón de la semilla de mango obtuvo un valor de 87%, lo que indica que tiene un gran acercamiento verde. Desde una perspectiva global, este resultado se ve influenciado por las condiciones en las que se realizó el proceso. En primera instancia, entre los residuos que se generaron en este proceso (solución residual de NaHSO_3 , sobrenadante del proceso de centrifugación y partículas de semilla de mango), son considerados, totalmente inocuos, es decir no representan un riesgo ni para la salud humana ni para el medio ambiente, por esto el principio 1 (Prevención) se puntúo con 3.

De igual manera, no se presentó un exceso de reactivos para llevar a cabo el proceso, y por ende no hubo formación de subproductos, motivo por el cual, el principio 2 (Economía atómica) tuvo una calificación de 3. Por otro lado, el solvente principal en este experimento fue el agua, la cual es una sustancia inocua, por ende, el principio 5 (Solventes y sustancias auxiliares más seguras), puntúo con 3. El principio 6 (Aumento de la eficiencia energética), obtuvo una puntuación de 2,8, para este principio se consideró el consumo energético en Wh, en cada proceso en el que se involucrara un equipo, en total fueron 3, la licuadora (59,5 Wh), la centrifuga (Wh) y el horno (12336 Wh), en donde este último, presento un mayor consumo, sin embargo, dado que la temperatura con la que se trabajó (50°C) está dentro del rango de 0°C a 100°C , en el paso b, se puntúo con 2.

En el proceso no se produjeron derivaciones, ni tampoco se emplearon agentes catalíticos, ante esto, los principios 8 (Reducir derivaciones) y el principio 9 (Catalizadores), tuvieron una calificación de 3. Puesto que, todas las sustancias involucradas en el proceso son degradables, es decir, que se pueden descomponer en sustancias que el medio ambiente puede asimilar con facilidad.

Sin embargo, se identificaron 3 principios que se encontraron en un punto crítico, estos fueron: el principio 3 (Síntesis química menos peligrosa) obtuvo un valor de 2,5, en vista de que el bisulfito de sodio es sustancia corrosiva e irritante en contacto con los ojos o la piel, es decir, puede generar un daño leve a moderado en la salud humana. El principio 7, se puntúo con 2,5, en tanto el bisulfito de sodio no es una sustancia renovable, Por último, el principio 12, se calificó con 2,5, porque el bisulfito, en contacto con oxidantes fuertes puede generar calor, fuego, explosiones y/o vapores tóxicos

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

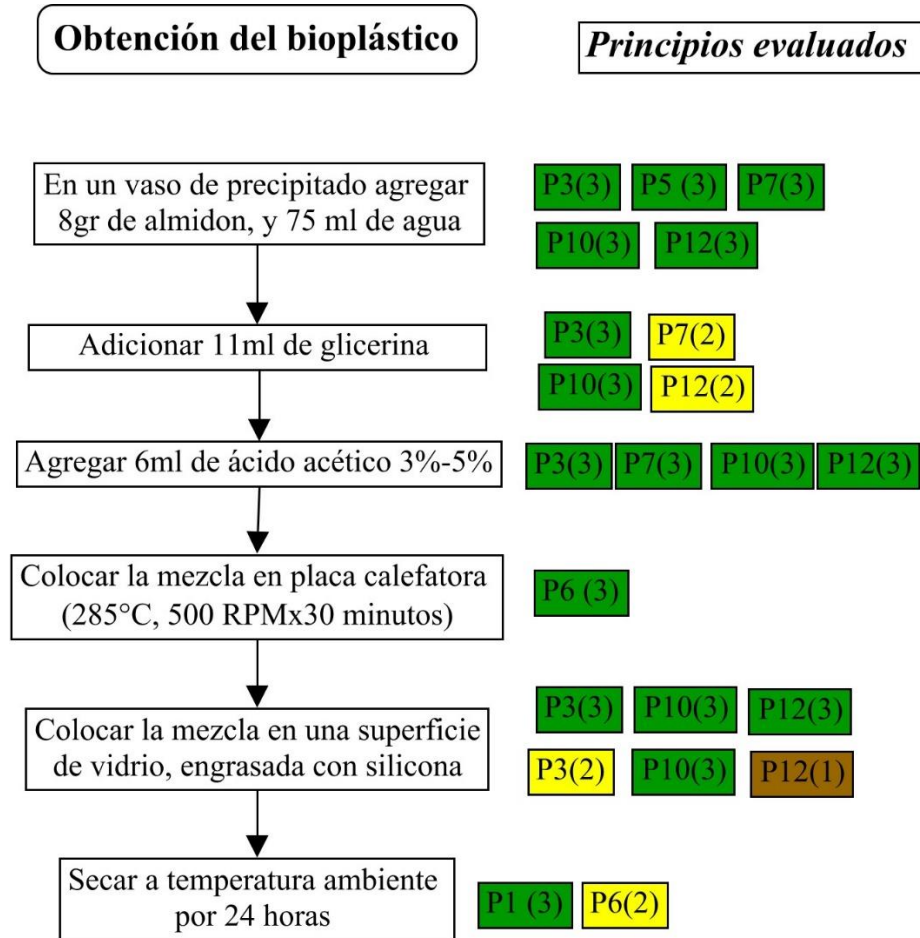




Figura 47 . Diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico con sus respectivos principios evaluados





Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 22. Matriz de diagnóstico del proceso de obtención de bioplástico

Nombre del proceso		Obtención del bioplástico										
					Riesgo a la salud o al medio ambiente		Riesgo de potenciales accidentes químicos		Degradabilidad y renovabilidad de las sustancias involucradas			
Paso	Carácter	Consumo energético (Wh)	Entradas	Salidas	Salud	Medio ambiente	Inflamabilidad	Reactividad	Degradable	Renovable	Principios evaluados	
a	En un vaso de precipitado agregar 8 gramos de almidón y 75 mL de agua destilada	Químico	0	Agua + Almidón	Solución coloidal	No presenta riesgo	No presenta riesgo	No	No	Si	Si	P3(3) P5(3) P7(3) P10(3) P12(3)
b	Adicionar 11 mL de glicerol	Químico	0	11 mL Glicerina	Solución coloidal		No presenta riesgo	No		Si	No	P3(3) P7(2) P10(3) P12(2)

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

c	Agregar 5 mL de vinagre (ácido acético 3%-5%)	Químico	0	6 mL de ácido acético (3%-5%)	Solución coloidal		No presenta riesgo	No	No	Sí	Si	P3(3) P10(3) P12(3)	P7(3)
d	Colocar la mezcla en una placa calefactora (285°C, 500 RPM x 15 minutos)	Físico	255	Mezcla de bioplástico	Mezcla de bioplástico gelatinizada	No presenta riesgo	No presenta riesgo	No	No	N/A	N/A	P6(3)	
e	Colocar la mezcla en moldes previamente engrasados con silicona antiadherente	Físico	0	Mezcla de bioplástico gelatinizada	Moldes con mezcla de bioplástico	No presenta riesgo	No presenta riesgo	N/A	N/A	N/A	N/A	P3(3) P10(3) P12(3)	
				Silicona	Moldes engrasados	 Irritación	No presenta riesgo	 2		No	No	P3(2) P10(3) P12(1)	
f	Secar en horno (50°C * 12 horas)	Físico	24000	Moldes con mezcla de bioplástico	Bioplástico final + residuos de bioplástico	No presenta riesgo	No presenta riesgo	N/A	N/A	N/A	N/A	P1(3) P6(2)	

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 23. Justificación de la evaluación realizada para el proceso de obtención de bioplástico

Paso		Justificación
a	En un vaso de precipitado agregar 8 gramos de almidón y 75 mL de agua destilada	Tanto el agua como el almidón son sustancias inocuas, esto debido a que no representan un peligro para la salud humana ni para el medio ambiente, de igual manera, son considerados degradables y renovables, finalmente, el riesgo de que presenten un accidente químico es nulo. En este orden de ideas, los principios 3,5, 7, 10 y 12 se califican con un valor de 3
b	Adicionar 11 mL de glicerina	El glicerol es un compuesto alcohólico, que se usa como agente plastificante. Es una sustancia que presenta un riesgo bajo para la salud humana, motivo por el cual, el principio 3 tiene una puntuación de 3. No se considera una materia prima renovable, motivo por el cual, el principio 7, se puntúa con 2. Por otro lado, es completamente biodegradable en agua, y no presenta ni toxicidad, ni bioacumulación, en vista de esto, el principio 10 se puntúa con un valor de 3
c	Agregar 6 mL de ácido acético 3%-5%	El vinagre es una solución diluida de ácido acético, usada en este proceso como agente antimicrobiano. Es un producto completamente biodegradable, que se descompone en sustancias que son fácilmente asimiladas por el medio ambiente, como lo son el ácido fórmico, dióxido de carbono y agua, ante esto, el principio 10, se puntúa con 3. A pesar de que puede causar una ligera irritación, no representa un riesgo importante para la salud humana, razón por la cual, el principio 3, es valorado con 3. Por otro lado, es una sustancia considerada como renovable, esto sugiere que el principio 7 se puntué con 3. Su riesgo de presentar accidentes químicos es bajo, por esto, el principio 12 tiene una puntuación de 3
d	Colocar la mezcla en una placa calefactora (285°C, 500 RPM x 15 minutos)	El consumo energético de la placa calefactora durante 15 minutos fue de 255 Wh, un valor bastante bajo comparado con el consumo del paso f, por esto el principio 6 se puntúa con 3
e	Colocar la mezcla en moldes previamente engrasados con silicona antiadherente	El bioplástico obtenido, está compuesto por sustancias que son inocuas y completamente biodegradables, por esto, el principio 3 y 10 obtienen una puntuación de 3. De igual manera, su riesgo de causar accidentes químicos es nulo, por esto, el principio 12, recibe una puntuación de 3 La silicona se emplea como agente desmoldante. Es una sustancia que puede causar irritación ocular, por esto, el principio 3, tiene una puntuación de 2. Es un aerosol altamente inflamable y explosivo, esto indica, que el principio 12, tiene una puntuación de 1.
f	Secar en horno (50°C * 12 horas)	En este paso, el residuo principal son los restos de bioplástico que se quedan adheridos al molde, así mismo, estos son inocuos, razón por la cual, el principio 1 , tiene una puntuación de 3. El consumo energético del horno es de 24000 Wh, sin embargo, la temperatura que se emplea es de 50°C, por este motivo, el principio 6 es puntuado como 2

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 24. Promedio de la puntuación de los principios evaluados en el proceso de obtención del bioplástico

Principio	Puntuación
P1	3
P2	3
P3	2,8
P5	3
P6	2,5
P7	2,7
P8	3
P9	3
P10	3
P12	2,4

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Tabla 25. Datos para el cálculo del porcentaje de cumplimiento

Numero de área	Principios comprendidos	Puntuación de los principios	Área	Área de la estrella verde	Área completa	Porcentaje de cumplimiento	Interpretación
A1	[P1 - P2]	3 ~ 3	2,4	21	24	88	Gran acercamiento verde
A2	[P2 - P3]	3 ~ 2,8	1,9				
A3	[P3 - P5]	2,8 ~ 3	1,9				
A4	[P5 - P6]	3 ~ 2,5	2,1				
A5	[P6 - P7]	2,5 ~ 2,7	1,7				
A6	[P7 - P8]	2,7 ~ 3	1,9				
A7	[P8 - P9]	3 ~ 3	2,4				
A8	[P9 - P10]	3 ~ 3	2,4				
A9	[P10 - P12]	3 ~ 2,4	1,9				
A10	[P12 - P1]	2,4 ~ 3	1,9				

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Estrella verde del proceso obtención del bioplástico

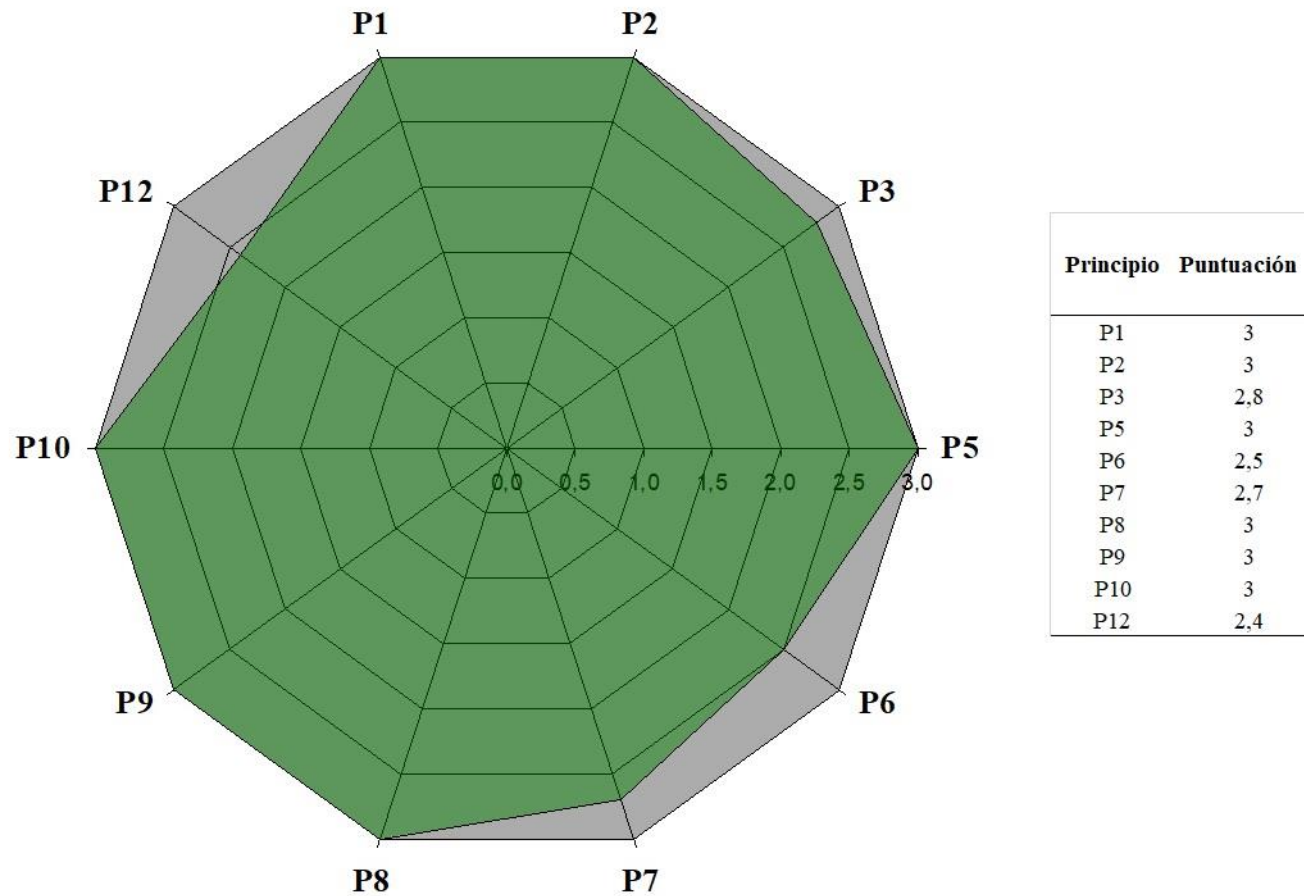


Figura 48. Estrella verde obtenida para el proceso de obtención del bioplástico

Autor, 2019

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Para concluir esta sección, resulta oportuno mencionar que el carácter innovador de la presente investigación radicó en llevar a cabo la primera evaluación cualitativa y cuantitativa del nivel de cumplimiento de los principios de la química verde de los procesos involucrados en la obtención de un bioplástico a partir de almidón de semilla de mango, empleando para ello, una matriz de diagnóstico y una métrica llamada Estrella verde, lo anterior se determinó después de realizar una revisión sistemática acerca de la aplicación de los principios de la química verde, tanto en procesos de extracción de almidón como en procesos de elaboración de polímeros biodegradables.

Para la elaboración de dicha revisión sistemática, se delimitó la búsqueda utilizando palabras clave tales como química verde, métrica, almidón, biodegradable, bioplástico, es importante aclarar que esta búsqueda se hizo tanto en español como en inglés. Posteriormente, se utilizaron diversas bases de datos tales como: Dialnet, Redalyc, ScienceDirect SciELO, Redalyc y Springer Open, todas ellas remitidas desde Google academics.

10.4 Aplicabilidad del bioplástico obtenido en envases.

Los plásticos convencionales a base de petroquímicos se han utilizado ampliamente en materiales para el envasado de alimentos, puesto que, son duraderos, de bajo costo y proporcionan una excelente protección a los alimentos, dentro de los cuales se destacan: el tereftalato de polietileno (PET), el polipropileno (PP) y por último el polietileno de baja densidad (PE-LD) (Hamidon, Farhana, Sumar, & Hamid, 2019).

A pesar de su diversidad de aplicaciones, los plásticos generan diferentes impactos ambientales. La problemática ambiental se basa en 4 aspectos: su lenta degradación; la creciente generación de residuos; su principal materia prima es no renovable, el petróleo; y algunos de los químicos utilizados para producirlos son tóxicos (Tellez, 2012). Su extenso tiempo de degradación (entre 100 y 1000 años), genera que no se reincorporen fácilmente a los ciclos naturales, permaneciendo por largos periodos y afectando de diferentes maneras los lugares donde quedan dispuestos. Sin embargo, su mínima “degradación” produce partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de ya no ser evidentes, se acumulan en los ecosistemas (Segura, Noguez, & Espin, 2007).

En los últimos años, se ha llevado a cabo una amplia investigación para explorar materiales de envasado biodegradables y ecológicos a partir de recursos biológicos naturales. En este contexto, el desarrollo de películas biodegradables utilizando varios biopolímeros como reemplazo de polímeros basados en petroquímicos es un fenómeno que llama la atención. Estas películas no solo retienen la integridad mecánica y los atributos sensoriales del producto alimenticio durante el almacenamiento, sino que también reducen la cantidad de peligros químicos y ambientales (Hamidon, Farhana, Sumar, & Hamid, 2019). Dentro de la amplia oferta de biopolímeros que existen, se destaca el almidón, ya que es económico, comestible, renovable, inocuo y puede manipularse fácilmente.

En vista de que en la presente investigación se realizaron diferentes formulaciones de bioplástico a base de almidón /celulosa y se procedió a caracterizar sus propiedades tanto químicas como físicas, con el fin de determinar su posible aplicación como materia prima para la elaboración de envases, se realizó una comparación de dichas propiedades (densidad, espesor y solubilidad) entre los bioplásticos obtenidos y los plásticos convencionales mencionados anteriormente. En la tabla 26 se puede apreciar la comparación establecida

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

En los envases o empaques para alimentos, los valores bajos de densidad y espesor son características deseables, dado que, implican bajos costos de transporte del material, y por lo tanto, el uso de combustible y las emisiones asociadas son menores, en comparación con otras formas de empaque (madera, metal o vidrio). Desde otro punto de vista, también cumplen con las expectativas del consumidor en cuanto a seguridad, comodidad y manejabilidad del producto (Hamidon, Farhana, Sumar, & Hamid, 2019). Tanto el valor de densidad como el de espesor para cada uno de los bioplásticos obtenidos, fue mayor a comparación con los valores reportados para los plásticos convencionales, es decir ninguno cumplió con el parámetro deseado.

Por su parte la solubilidad es una característica estrechamente ligada a la permeabilidad del material, y esta última se asocia con la capacidad de protección y preservación de un producto alimenticio. Para la mayoría de los alimentos una ganancia o pérdida de humedad supone la aparición de defectos físicos o biológicos. En este orden de ideas, una baja solubilidad y/o permeabilidad es un requisito indispensable para la preservación de las cualidades físicas, químicas y sanitarias de los alimentos, puesto que, no permite que evita cambios en el sabor, color y olor (Jasse, Seuvre, & Mathlouthi, 1994).

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados de solubilidad obtenidos para cada formulación de bioplástico son significativamente mayores a comparación con los valores reportados para los plásticos convencionales, como en el caso anterior, tampoco cumple con los parámetros deseados. Sin embargo, es preciso mencionar que esta alta solubilidad se debe al carácter higroscópico del almidón, y esta es una característica que promueve la biodegradabilidad del material.

Tabla 26. Comparación de las propiedades físicas y químicas entre los bioplásticos obtenidos y plásticos convencionales

Material	Densidad (g/mL)	Espesor (mm)	Solubilidad (%)
Formulación 1	1,09	0,04	64,61
Formulación 2	1,02	0,09	63,46
Formulación 3	1,01	0,11	63,02
Formulación 4	1,00	0,17	56,92
Tereftalato de polietileno (PET)	0,91 – 0,94	0,012	0,10
Polipropileno (PP)	0,89- 0,92	0,016	> 0,10
Polietileno de baja densidad (PE-LD)	0,92 – 1,29	0,03	0,10

(Kirwan, Plant, & Strawbridge, 2011)

No obstante, hay otras propiedades que se tiene en cuenta a la hora de diseñar envases o empaques para productos alimenticios, tales como el grado de polimerización, propiedades térmicas (temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión, temperatura de cristalización, entalpía, expansión térmica y temperatura deformación térmica), resistencia química, propiedades mecánicas (coeficiente de fricción, resistencia a la tensión, alargamiento, viscosidad, elasticidad, plasticidad) y finalmente propiedades

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

morfológicas. A continuación se muestran algunas de estas propiedades para los plásticos convencionales señalados con anterioridad.

Tabla 27. Propiedades generales de polímeros plásticos utilizados para envases de productos alimenticios

Plástico	Resistencia a la tensión (MPa)	Elasticidad (MPa)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de deformación (°C)	Densidad
PET	48,26	2757,90	245	21	0,91 - 0,94
PP	31,03 - 41,37	1551,32	168 - 175	107 - 121	0,89 - 0,92
PE-LD	8,27 - 31,71	206,84	98 - 115	40 - 44	1,29

(Teck Kim, Min, & Won Kim, 2014)

A pesar del creciente interés en los bioplásticos, el uso de almidón como materia prima sigue siendo limitado debido a su fragilidad y sensibilidad a la humedad en comparación con los plásticos sintéticos convencionales. Una estrategia que se ha demostrado que mejora las propiedades de los bioplásticos a base de almidón es mediante la adición de alcohol polivinílico (PVA). El PVA es un polímero sintético que está hecho de productos petroquímicos, pero que es completamente soluble en agua y, por lo tanto, es biodegradable. De esto último, se puede inferir que las mezclas compuestas de PVA y almidón son biodegradables. Un caso de éxito fue la investigación llevada a cabo por Judawisatra, Sitohang y Mardiyati quienes elaboraron filmes bioplásticos hechos a partir de yuca combinados con diferentes concentraciones de alcohol polivinílico (0 %P/P – 29%P/P), en donde se concluyó que el aumento del contenido de PVA disminuía la absorción de agua de los bioplásticos. Esto se debe a la interacción entre el almidón y el PVA que reduce los grupos OH libres en los bioplásticos resultantes. En consecuencia los bioplásticos combinados con PVA resultaron ser menos hidrófilos y, por lo tanto, menos sensibles a la presencia de agua (Judawisatra, Sitohang, Marta, & Mardiyati, 2017).

Otra alternativa de mejora es la adición de un agente de refuerzo conocido como celulosa microcristalina Avicel PH101. En el estudio llevado a cabo por Maulida, Siagian y Tarigan, en donde se realizaron bioplásticos de yuca con diferentes concentraciones tanto del agente de refuerzo (0, 2, 4 y 6 %P/P) como del plastificante, en este caso, sorbitol (20, 25 y 30 %P/V). Los resultados mostraron una mejora en la resistencia a la tracción con un mayor contenido de celulosa microcristalina de hasta en comparación con los bioplásticos no reforzados. Por el contrario, la adición de celulosa microcristalina disminuyó la densidad y la absorción de agua. La mejora de las propiedades bioplásticas se puede atribuir a una buena adhesión interfacial que puede formar fuertes enlaces de hidrógeno entre el grupo hidroxilo (O-H) del almidón y el grupo hidroxilo y carboxilo (COOH) de celulosa (Maulida, Siagian, & Tarigan, 2016)

11. Conclusiones

En cuanto al proceso de extracción de almidón, se obtuvo un porcentaje de extracción del 28,11%, valor que se consideró bajo, a comparación de los porcentajes reportados por otros autores, en este sentido, se determinó que uno de los factores principales que influían en este resultado, fue el tiempo de sumersión en bisulfito de sodio, para llevar a cabo la eliminación de taninos y aumentar la pureza. Por otro lado, se realizaron cuatro formulaciones de bioplástico hechas a partir del almidón obtenido, añadiendo un agente reforzante, denominado fibra de celulosa, el cual ejerció un efecto sobre las propiedades físicas y químicas del bioplástico. Los rendimientos obtenidos para cada tipo de bioplástico fueron de 21,40% para el bioplástico de almidón y 21,82%, ante esto, se concluye que la adición de fibra celulosa natural no representó un factor diferencial para aumentar el rendimiento

Para la caracterización química, se llevaron a cabo dos procesos, el primero, que hace referencia a la determinación del contenido de amilosa y amilopectina del almidón, arrojó porcentajes promedio de 14,09% y 85,91%, en base a estudios anteriores, se estableció que el contenido de cada uno puede variar, respecto a la variedad del mango que se trabaje, en esta investigación la variedad fue “Mango azúcar”. Paralelamente a esto, se considera que el contenido de amilopectina es un factor que incide de forma directa con las propiedades físicas del bioplástico, más específicamente, la solubilidad y el porcentaje de absorción de agua, partiendo de la idea, de que esta molécula al estar en presencia y calor tiende a hincharse y por ende a absorber agua, considerando que un mayor porcentaje de amilopectina favorece de manera notable el proceso de absorción de agua. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por el material, en tanto los porcentajes de absorción de agua oscilaron entre un 39,8% y 71,5%, sin embargo, y los porcentajes de solubilidad fueron de 56,9% y 64,6%, sin embargo, la adición de fibra de celulosa natural permitía que estos valores se redujeran levemente, debido a que la celulosa es un biopolímero de naturaleza hidrofóbica

La estrella verde, debido a que es una métrica holística de química verde que consideró 10 principios relevantes de manera global y sistémica, fue útil para evaluar el porcentaje de cumplimiento verde de los procesos involucrados en la obtención del bioplástico. Esta utilidad es consecuencia de las principales características de la estrella verde: en primera instancia, permite la comparación fácil e intuitiva de la nivel de acercamiento verde de los diferentes procedimientos experimentales involucrados, mediante un simple análisis visual, como también puede expresarse fácilmente por un número entre 1 y 100 (índice de área de estrella verde) cuando sea necesario para comparaciones más precisas; segundo, permite la identificación inmediata, mediante análisis visual directo, de los aspectos que requieren optimización para mejorar el acercamiento verde, así como la evaluación del progreso a lo largo del procedimiento; y por último, es fácil de construir, aunque a veces puede ser difícil obtener toda la información necesaria sobre las propiedades tóxicas y ambientales de las sustancias involucradas, especialmente en lo que respecta a la degradabilidad.

12. Recomendaciones

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Para obtener un mayor porcentaje de extracción de almidón de semilla de mango, es recomendable aumentar el tiempo del procedimiento de eliminación de taninos a 24 horas.

Para los agentes de refuerzo, es indispensable que tengan un tamaño de partícula pequeño (45 micras), puesto que esto permite un nivel de miscibilidad alto, conllevando a que las propiedades de los bioplásticos mejoren en aspectos como la absorción de agua, o la rigidez. Paralelamente a esto se recomienda realizar una comparación con diferentes agentes de refuerzo

Con el fin de ampliar la caracterización de los bioplásticos obtenidos es recomendable llevar a cabo pruebas mecánicas tales como resistencia a la tensión, tracción, modulo de elasticidad y dureza

Para determinar la biodegradabilidad del bioplástico es recomendable seguir la metodología propuesta en la norma ASTM D6400, la cual proporciona un valor cuantitativo en términos de porcentaje de degradación, y cuyo fundamento se basa en determinar el CO₂ titulable que produce el bioplástico al descomponerse, en presencia de un sustrato.

Respecto a la evaluación de los procesos involucrados en la obtención del bioplástico desde los principios de la química verde, es recomendable aplicar dicha metodología a diferentes métodos de obtención, esto con el fin de comparar el nivel de acercamiento verde que tienen diferentes técnicas reportadas, y así poder seleccionar el que presente un porcentaje mayor de cumplimiento.

13. Bibliografía

- Abraham, E., Ramachandran, S., & Ramalingam, V. (2007). Biogas: Can It Be an Important Source of Energy. *Environmental science and pollution research international*, 14(1), 67-71.
- Agustin, M., Ahmmad, B., Alonzo, S., & Patriana, F. (2014). Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(24), 2205–2213. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(24), 2205–2213. doi:10.1177/0731684414558325
- Agustin, M., De Leon, E., Buenaobra, J., & Alonzo, S. (2014). Starch based bioplastics reinforced with cellulose nanocrystals from agricultural residues. *International Conference on Advances in Engineering and Technology*, 1, 593-597. doi:http://dx.doi.org/10.15242/IIIE.E0314037
- Alcaldia Mayor de Bogotá. (2019). *Ubicacion de la ciudad*. Obtenido de <https://bogota.gov.co/ubicacion-de-bogota-sitios-turisticos-vias-y-alrededores-de-bogota>
- Alonso, M., Viturro, C., Lozano, A., Sueldo, M., & Madregal, S. (2004). *BIODEGRADACIÓN DE POLIPROPILENO*. San Salvador de Jujuy: Universidad Nacional de Jujuy.
- Alzáte, S., Quintanilla, J., Paredes, C., & Velasco, E. (2018). Bioplásticos de colágeno parcialmente hidrolizado obtenido de las escamas del bocachico hidrolizado obtenido de las escamas del bocachico. *Biopolimeros*, 82(2), 103-106.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

- Anastas, P., & Horváth, I. (2007). Innovations and Green Chemistry. *Chemical Reviews*, 107(6), 2169-2173. doi:10.1021/cr078380v
- Anastas, P., & Warner, J. (1998). *Green chemistry : theory and practice* (1 ed.). New York: Oxford University Press.
- Área metropolitana de Bucaramanga & UIS . (2015). *Plan de gestion integral de residuos solidos del área metropolitana de Bucaramanga- III Informe de proyectos seleccionados a nivel de prefectibilidad*. Bucaramanga.
- Arroyo, E., & Alarcon, H. (2013). *Obtención, caracterización y análisis comparativo de polímeros biodegradables a partir de yuca, papa y maíz*. Universidad de Lima. .
- Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica (ALTEC). (2013). *Nuevas oportunidades con residuos agroindustriales tropicales*. Obtenido de http://www.altec2013.org/programme_pdf/50.pdf
- Atilio de la Orden, E. (2009). *Contaminación*. Universidad Nacional de Catamarca. Editorial Científica Universitaria.
- Ball, D. (2006). Concentration Scales for Sugar Solutions. . *Journal of Chemical Education*, 83(10), 1489-1491. doi:10.1021/ed083p1489
- Barker, M., & Safford, R. (2009). *Industrial uses for crops: markets for bioplastics*. Home Grown Cereals Authority.
- Bernal, C., Guarnizo, J., Guevara, A., Suarez, D., Lozano, N., & Castillo, S. (2017). Propiedades, modificaciones y usos de los almidones, con miras a la obtención de películas biodegradables. *Revista de investigación Fundacion Universidad de América*, 10(2), 135-152.
- Bigg, D. (1986). Thermally conductive polymer compositions. *Polymer Composites*, 7(3), 125-140. doi:10.1002/pc.750070302
- Bikiaris, D. (1998). Biodegradation of octanoacted starch and its blends with LDPE. *Polymer Degradation and Stability*. , 437.
- Boatella, J. (2004). *Química y bioquímica de los alimentos II* (Vol. 2). Barcelona: Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona.
- Brundtland, G. (1987). *Our common future* . Oxford University Press.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2018). *Balance de la economía de la región Bogotá-Cundinamarca 2018*. Bogotá: Direccion de gestión y transformación de conocimiento.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2018). *Datos y cifras generales de Bogotá*. Obtenido de Invest in Bogota: <https://es.investinbogota.org/por-que-bogota/datos-generales-y-cifras-de-bogota>
- Carvalho, A., Curvelo, A., & Agenelli, J. (2001). A first insight on composites of thermoplastic starch and kaolin. *Carbohydrate polymers*, 45(1), 189-194.
- Castells, X. (2012). Métodos de valorización y tratamiento de residuos municipales. En X. Castells, *Reciclaje de residuos industriales: Residuos solidos urbanos y fangos de depuradora* (págs. 787-906). Madrid: Diaz de Santos.
- Castillo, A., & Iñiguez, A. (2011). *Obtención del ácido láctico a partir del almidón de papa (Solanum tuberosum L), como materia prima para la fabricación de material descartable biodegradable*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Centro de Información Técnica. (2009). *Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU*. Boletín Técnico Informativo no 25.
- Chen, Y. (2013). Advantages of Bioplastics and Global Sustainability. *Applied Mechanics and Materials*, 420.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

- Chiumarelli, M., & Hubinger, M. (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*, 38, 20-27. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.11.013
- CIT, C. d. (2009). *Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU*. Plastivida.
- Comisión económica para América Latina y el Caribe. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Capítulo 3. De los derechos colectivos y del ambiente (Título II)*. Bogotá.
- CORDIS. (2019). *Los bioplásticos: materiales sostenibles para construir una bioeconomía circular sólida en Europa*. Obtenido de cordis.europa.eu: <https://cordis.europa.eu/article/id/400694-sustainable-materials-for-a-strong-and-circular-european-bio-economy/es>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). (2010). *Descripción de las variedades de mango criollo colombiano*. (Produmedios, Ed.) Colombia: Produmedios. doi:ISBN 978-958-740-023-6
- Corrales, C., Meneses, J., & Valencia, M. (2007). *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca*. Revista EIA.
- Cortés, M., Guardiola, L., & Pacheco, R. (2007). Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (var. Tommy atkins) con calcio. (U. N. Colombia, Ed.) *DYNA*, 74(153), 19-26.
- Da Silva, G., Mack, M., & Contiero, J. (2009). Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. *Biotechnology Advances*, 27(1), 30-39. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.07.006
- De la Hoz, A. (3 de Junio de 2018). Sube consumo de plástico pese a las alertas de la ONU. *El Heraldo*.
- Departamento Nacional de planeación & TecNALIA. (2018). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y Economía Circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde - Elementos críticos para mejorar la eficiencia en el uso de materiales y la recuperación de residuos*. Obtenido de https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%202_v5.pdf
- Dufresne, A., & Vignon, M. (1998). Improvement of Starch Film Performances Using Cellulose Microfibrils. *Macromolecules*, 31, 2693-2696.
- Eschenhagen, M. (1998). Evolución del concepto "desarrollo sostenible" y su implantación política en Colombia. *INNOVAR, revista de ciencias administrativas y sociales*, 11(1), 111-120.
- Espinilla, M. (2017). *Estudio preliminar de la degradación de plásticos por poblaciones bacterianas presentes en suelo del Complejo Ambiental de Arico*. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de la Laguna.
- Estrada, H. (2012). *Bioplástico, plásticos compostables y oxodegradables: la realidad sobre la biodegradabilidad de los envases plásticos*. Informe temático N° , Lima.
- Famá, L., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). *Influence of storage time at room temperature on the physicochemical properties of cassava starch films*. Carbohyd Plym.
- Fedemango. (2019). *¿Que es Fedemango?* Obtenido de <https://www.fedemango.com.co/>
- Fernandez, J., & Vargas, P. (2015). *Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bio plásticos a partir de papa en contra de la contaminación en Colombia*. Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada, Ingeniería industrial, Bogotá.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

- Ferraz, C., Fontes, R., Fontes-Sant'Ana, Calado, V., Lopez, E., & Rocha, M. (2019). Extraction, Modification, and Chemical, Thermal and Morphological Characterization of Starch From the Agro-Industrial Residue of Mango (*Mangifera indica* L.) var. Ubá. *Starch Journal*, 71(1), 1-8.
- Fowomola, M. (2012). Some nutrients and antinutrients contents of mango (*Mangifera indica*) seed. *African journal of food science*, 4(8), 472-476.
- García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. Escuela Especializada en ingeniería ITCA-FEPADE. Santa Tecla: ITCA editores. Obtenido de <http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2436/1/05%20Obtenci%C3%B3n%20de%20un%20pol%C3%ADmero%20biodegradable.pdf>
- García, J. (2000). *Obtención y caracterización del almidón de la almendra del mango (Mangifera indica L.) variedad criolla*. Tesis, Universidad Nacional de San Martín, Perú, San Martín.
- Gonzales, D. (2013). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal*. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas.
- Goodland, R., Daly, H., El Serafy, S., & Von Droste, B. (1992). *Medio ambiente y desarrollo sostenible. Más allá del Informe Brundtland*. Madrid: Trotta.
- Grande, C. (2016). *Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales*. Cali: Bonaventuriana. Obtenido de <http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>
- Guerrero, A., & Campos, M. (2014). *Estimación teórica del proceso de transformación del mango (Mangifera Indica) y aprovechamiento de sus subproductos en los municipios de Chicoral, Espinal y Gualanday, Departamento del Tolima*. Universidad Nacional abierta y a distancia, Ibagué.
- Hamidon, N., Farhana, N., Sumar, N., & Hamid, H. (2019). A Study of Biodegradable Plastic Utensils from Mango Kernel. *Journal of Applied Chemistry and Natural Resources*, 1(1), 1-4.
- Hassan, L., Muhammad, A., Aliyu, R., Idris, Z., Izuagie, T., Umar, K., & Sani, N. (2013). "Extraction and Characterization of Starches from Four Varieties of *Mangifera indica* Seeds. *Journal of Applied Chemistry (IOSRJAC)*, 16-23.
- Ishigaki, T., Sugano, W., Nakanishi, A., Tateda, M., M, I., & Fijita, M. (2004). "The degradability of biodegradable plastics in aerobic and anaerobic waste landfill model reactors. *Chemosphere*, 225-233.
- Izuagie, T., Hassan, L., Uba, A., Achor, M., & Sahabi, D. (2012). Composition and physicochemical properties of starch from christ thorn seeds. *Bayero journal of pure and applied sciences*, 5(1), 60-65. doi:10.4314/bajopas.v5i1.12
- Jackman, R., & Stanley, D. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 187-194. doi:10.1016/s0924-2244(00)89053-6
- Jangchud, A., & Chinnan, M. (1999). Peanut Protein Film as Affected by Drying Temperature and pH of Film Forming Solution. *Journal of food science*, 64(1), 153-157.
- Jaramillo, M., Ferrer, S., & Cárdenas, Y. (2018). Residuos de *Mangifera indica* como materia prima para la elaboración de materiales. (SENA, Ed.) *Con-ciencia técnica*, 2.
- Jasse, B., Seuvre, A., & Mathlouthi, M. (1994). Permeability and structure in polymeric packaging materials. *Food Packaging and Preservation*, 1(1), 1-22. doi:10.1007/978-1-4615-2173-0_1
- Jiménez, J., & Mora, J. (2004). *El cultivo del mango*. Guacimo, Limón, Costa Rica: Editorial Earth. doi: ISBN 9977-84-005-9
- Judawisatra, H., Sitohang, R., Marta, L., & Mardiyati. (2017). Water absorption and its effect on the tensile properties of tapioca starch/polyvinyl alcohol bioplastics. (I. i. Technology, Ed.) *IOP*

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Conf. Series: Materials Science and Engineering, 223(1), 1-9. doi:doi:10.1088/1757-899X/223/1/012066

- Kalpakkian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufacturing, engineering and technology* (Vol. 4). (U. S. River, Ed.) New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Kaur, M., Singh, N., Sandhu, K., & Guraya, H. (2004). Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 85, 131-140.
- Ke, T., Sun, & X. (2001). Thermal and mechanical properties of poly(lactic acid) and starch blends with various plasticizers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 44(4). doi:10.13031/2013.6228
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana.
- Kirwan, M., Plant, S., & Strawbridge, J. (2011). Plastics in food packaging. *Food and Beverage Packaging Technology*, 2(1), 157-212.
- Knight, P. (2001). Structuring agglomerated products for improved performance. *Powder Technology*, 119(1), 14-25. doi: 10.1016/s0032-5910(01)00400-4
- Laohakunjit, N., & Noomhorm, A. (2004). Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier Properties of Rice Starch Film. *Starch - Stärke*, 56(8), 348-356. doi:10.1002/star.200300249
- Llerena, J., & Monzón, L. (2017). *Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (Oryza sativa), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (Mangifera indica)*. Proyecto de grado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- López, O., García, M., & Zaritzky, N. (2008). Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate Polymers*, 73(4), 573-581. doi:10.1016/j.carbpol.2007.12.023
- Ma, X., & Yu, J. (2004). *The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch*. Carbohydr Polym.
- Mali, S., Karam, L., Pereira, L., & Grossman, M. (2004). Relationships among the Composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(1), 7720-7725. doi:10.1021/jf049225
- Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., & Grossmann, M. (2005). *Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect*.
- Maulida, Kartika, T., Harahap, M., & Ginting, M. (2018). Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1), 1-7.
- Maulida, Siagian, M., & Tarigan, P. (2016). Production of starch based bioplastic from cassava peel reinforced with microcrystalline cellulose Avicel PH101 using sorbitol as plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 710, 1-7. doi:10.1088/1742-6596/710/1/012012
- Mere, J. (2009). *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Meza, P. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Ingeniería ambiental.
- MIT, M. I. (2012). Bioplastics. Massachusetts.
- Morales, M., Martínez, J., Reyes, L., Hernández, O., Arroyo, G. O., & Ruvalcaba, R. (2011). ¿Qué tan verde es un experimento? *Educación química*, 240-248. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2011000300009

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

- Moreno, I. (2017). *Creacion de la identidad de marca de la unidad productiva de Aspromancol*. Proyecto de grado, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.
- Morrison, W., & Laignelet, B. (1983). An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *Journal of Cereal Science*, 1(1), 9-20. doi:10.1016/s0733-5210(83)80004-6
- Mouillet, V., Farcas, F., & Chailleux, E. (2011). Physico-chemical techniques for analysing the ageing of polymer modified bitumen. *Polymer Modified Bitumen. Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de*, 366-395. doi:doi:10.1533/9780857093721.2.366
- Muller, C., Borges, B. J., & Yamashita, F. (2009). Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food hydrocolloids*, 23(5), 1328-1333.
- Müller, C., Yamashita, F., & Borges, J. (2008). *Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch*. *Carbohydr Polym.*
- Muñoz, J. (2014). *Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera*. Proyecto de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3366/1/AGI-2014-T033.pdf>
- Navia, D., & Bejarano, N. (2014). Evaluación de las propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(2), 40-48.
- Navia, D., Villada, H., & Ayala, A. (2013). Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11, 77-84.
- Nawab, A., Alam, F., Abdul Haq, M., & Hasnain, A. (2016). Biodegradable film from mango kernel starch: Effect of plasticizers on physical, barrier, and mechanical properties. *Starch - Stärke*, 68, 1-10. doi:10.1002/star.201500349
- Nawab, A., Alam, F., Haq, M., Lutfi, Z., & Hasnain, A. (2017). Mango kernel starch-gum composite films: Physical, mechanical and barrier properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 1-31. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.02.054
- Oliveira, A., Silva, A., Barros, M., Souza, M., Rosa, M., & Azeredo, H. (2018). Nanocomposite Films from Mango Kernel or Corn Starch with Starch Nanocrystals. *Starch - Stärke*, 1-30.
- Ortiz, M., Villalobos, M., Prado, M, Peña, A, . . . j. (2013). Desarrollo de una película plástica a partir del almidón extraído de papa residual. *Ciencias de la ingeniería y la tecnología*, 1, 186-193.
- Ospina, S., Hernández, E., & Lozano, C. (2012). *Estudio experimental de residuos agroindustriales de mango (Mangifera Indica L) usando Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de grado, Universidad Católica de Manizales, Manizales.
- Pavia, D., Lampman, G., Kriz, G., & Vyvyan, J. (2009). *Introduction to spectroscopy* (4 ed.). Brooks Cole Cengage Learning.
- Pearce, D., & Atkinson, G. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability. *Ecological economics*, 8(2), 103-108.
- Pieri, N. (1994). *Étude du vieillissement simulé et in situ des bitumes routiers par IRTF et fluorescence UV en mode EES*. Tesis de doctorado, Université d’Aix-Marseille, Francia.
- Read, D. (2008). *Plastics from potatoes: Practical demonstration*. Southampton, UK. : University of Southampton.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

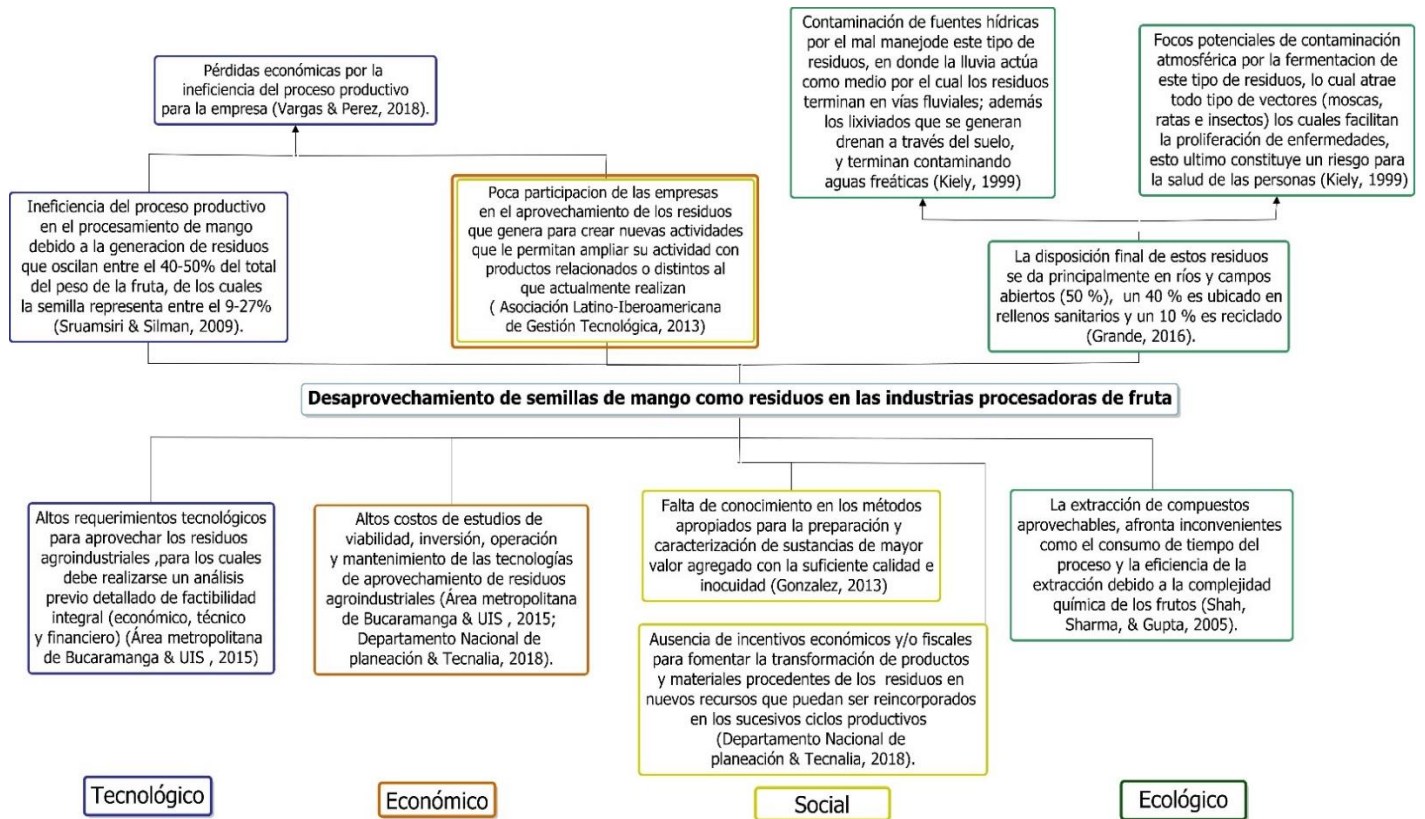
- Ribeiro, G., Costa, D., & Machado, A. (2010). "Green Star": a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 3(2), 149-159.
- Rodriguez, E., Ramsay, B., & Favis, B. (2004). *Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content*.
- Ropke, I. (2005). Trends in the development of ecological economics from the late 1980s to the early 2000s. *Ecological Economics*, 55(2).
- Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca. *Ingeniería y Ciencia*.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente, futuro. *Biotecnología*, 16(2), 12-16.
- Segura, D., Noguez, R., & Espin, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradable. *Biotecnología*.
- Shah, S., Sharma, S., & Gupta, M. (2005). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresource technology*, 96(1), 121-123.
- Shahrim, N., Sarifuddin, N., & Ismail, H. (2018). Extraction and Characterization of Starch From Mango Seeds. *Journal of physics: Conference series*, 1082, 1(1), 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1082/1/012019
- Sonthalia, M., & Sikdar, D. (2015). Production of starch from mango (*mangifera indica*.l) seed kernel and its characterization. *International journal of technical research and applications*, 3(3), 346-349.
- Soulestein, J., Prashanta, K., Lacrampe, M., & Krawaczak, P. (2011). Bioplástico based nanocomposites for packaging applications. En S. Pilla, & Wiley (Ed.), *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications* (pág. 79). Wisconsin: Scrivener publishing.
- Sruamsiri, S., & Silman, P. (2009). Nutritive value and nutrient digestibility of ensiled mango by-products. *Maejo international journal of science and technology*, 3(3), 1-14.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S., Fetzer, I, . . . Gerten, D. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*.
- Sun, H., Pan, Y., Zhao, Y., Jackson, W., Nuckles, L., & Malkina, I. (2008). Effects of sodium bisulfate on alcohol, amine, and ammonia emissions from dairy slurry. *Journal of environmental quality*, 37(2), 608-614. doi:10.2134/jeq2006
- Sweeney, B. (2008). Make Your Own Bioplastic .
- Teck Kim, Y., Min, B., & Won Kim, K. (2014). General Characteristics of Packaging Materials for Food System. *Innovations in Food Packaging*, 13-35. doi:10.1016/b978-0-12-394601-0.00002-3
- Tellez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Tesis de investigación, Universidad Nacional de Colombia, Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Bogotá.
- Tobiszewski, M., Marć, M, Gałuszka, A., & Namieśnik, J. (2015). Green chemistry metrics with special reference to green analytical chemistry. *Molecules*, 20(1), 10928-10946. doi:10.3390/molecules200610928
- Vargas, Y., & Perez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Facultad de ciencias básicas*, 14(1), 1-14.
- Whister, R., Bemiller, J., & Paschall, E. (1984). *Starch: chemistry and technology*. Academic Press, Inc.

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

- Yepes, S., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales -frutas- en Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431.
- Ying, Y., Del Valle, M., Valdebenito, N., & Zacconi, F. (2015). *Mediciones y métodos de uso común en el laboratorio de Química* (Vol. 2). Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Young, A. (1984). Fractionation of starch. *Starch: Chemistry and Technology*, 249-283. doi:10.1016/b978-0-12-746270-7.50014-8
- Zeng, J., Li, G., Gao, H., & Ru, Z. (2011). Comparison of A and B Starch Granules from Three Wheat Varieties. *Molecules*, 16(12), 10570–10591. doi:10.3390/molecules161210570
- Zobel, H. (1988). Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review. *Starch - Stärke*, 40(2), 44-50. doi:10.1002/star.19880400203


14. Anexos

Anexo 1. Árbol de problemas

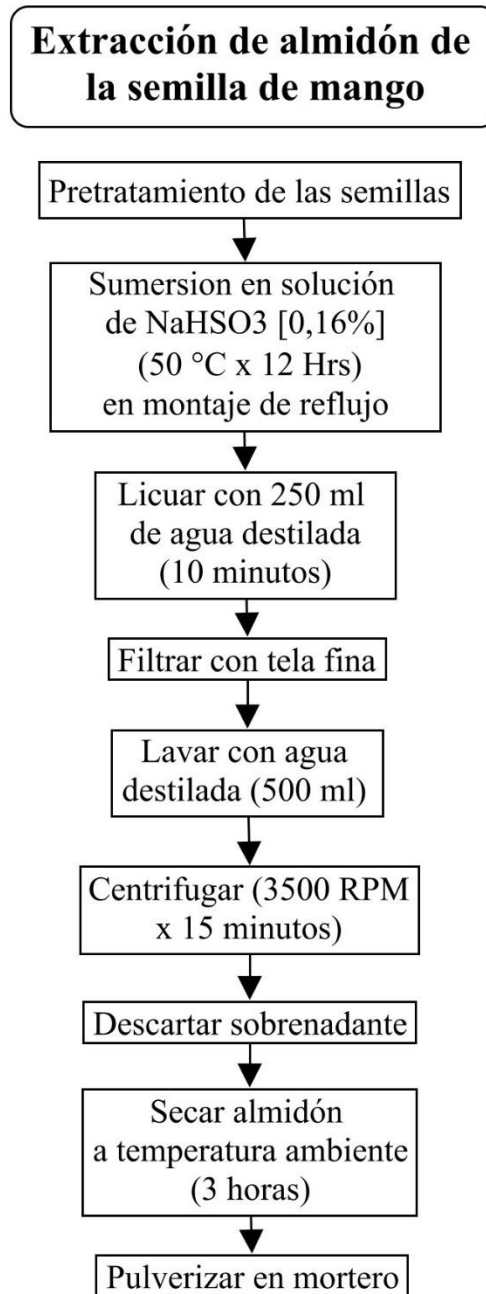


Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Anexo 2. Formato del acta de visita técnica

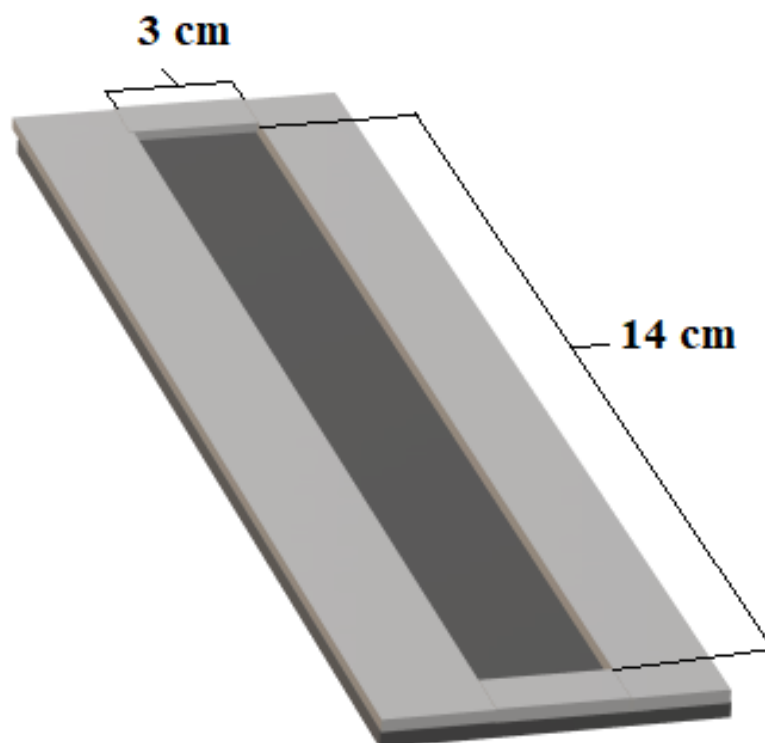
	Acta de visita técnica	Fecha
		-
	Nombre de la empresa	Versión #
Nombre proyecto: Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (<i>Mangifera indica</i>) con aplicación potencial en envases.		
Objetivo: Recopilar información acerca del proceso productivo del mango en la empresa		
Responsable: Maria Alejandra Ortiz Ramirez		Cedula: 1018493872
Nota: Los datos recopilados en cada uno de los aspectos evaluados serán usados para adelantar la investigación en curso con fines exclusivamente académicos		
Aspecto evaluado	Comentario	
Cantidad total de materia prima que ingresa al proceso productivo del mango		
Cantidad total del producto final		
Frecuencia de producción del mango		
Mecanismo de disposición final de los residuos del mango que se generan		
Cantidad total de residuos que se generan en el proceso productivo del mango		
Costo del mecanismo de disposición final de los residuos mensual		

Anexo 3. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de semilla de mango



Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Anexo 4. Grafica del molde laminar empleado con sus respectivas dimensiones



Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Anexo 5. Resultados obtenidos de la prueba de densidad de las formulaciones de bioplástico

Clasificación	Formulación	Muestra	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Densidad promedio (g/mL)
Bioplástico de almidón	1	1	0,5373	0,5 ± 0,15	1,07	1,09
		2	0,4892	0,4 ± 0,15	1,22	
		3	0,5204	0,5 ± 0,15	1,04	
		4	0,5171	0,5 ± 0,15	1,03	
		5	0,4825	0,4 ± 0,15	1,21	
		6	0,4917	0,5 ± 0,15	0,98	
bioplástico reforzado con celulosa	2	1	0,5870	0,6 ± 0,15	0,98	1,02
		2	0,5499	0,5 ± 0,15	1,10	
		3	0,5354	0,5 ± 0,15	1,07	
		4	0,5078	0,5 ± 0,15	1,02	
		5	0,4983	0,5 ± 0,15	1,00	
		6	0,5582	0,6 ± 0,15	0,93	
	3	1	0,5231	0,6 ± 0,15	0,87	1,01
		2	0,5176	0,5 ± 0,15	1,04	
		3	0,6217	0,7 ± 0,15	0,89	
		4	0,5585	0,5 ± 0,15	1,12	
		5	0,5842	0,5 ± 0,15	1,17	
		6	0,5932	0,6 ± 0,15	0,99	
4	1	0,9265	1,0 ± 0,15	0,93	1,00	
	2	0,9923	0,9 ± 0,15	1,10		
	3	0,9912	1,0 ± 0,15	0,99		
	4	0,9472	1,0 ± 0,15	0,95		
	5	0,9362	0,9 ± 0,15	1,04		
	6	0,9628	1,0 ± 0,15	0,96		

Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases

Anexo 6. Resultados de las mediciones de espesor para cada formulación de bioplástico

Formulación	Espesor (mm)			Espesor promedio (mm)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
1	0,05	0,06	0,03	0,04
	0,04	0,04	0,03	
	0,04	0,03	0,02	
	0,03	0,05	0,02	
	0,03	0,05	0,04	
	0,05	0,04	0,03	
2	0,08	0,10	0,07	0,09
	0,11	0,10	0,08	
	0,07	0,09	0,09	
	0,07	0,10	0,08	
	0,08	0,10	0,07	
	0,09	0,09	0,06	
3	0,11	0,11	0,12	0,11
	0,09	0,09	0,09	
	0,12	0,12	0,11	
	0,13	0,12	0,09	
	0,1	0,1	0,11	
	0,11	0,14	0,1	
4	0,25	0,15	0,12	0,16
	0,16	0,14	0,12	
	0,14	0,14	0,15	
	0,16	0,15	0,16	
	0,18	0,16	0,17	
	0,16	0,15	0,16	