

Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

Walner Enrique López Mena · Yim James Rodríguez Díaz · Yimy Gordon Hernández

Colección Unión Global



Universidad Nacional Experimental Sur del Lago
"Jesús María Semprum"
La Universidad que Forma y Produce



RED DE ADMINISTRACIÓN Y
NEGOCIOS (RedAyN)



CUADAP
Cuerpo Académico Administración Aplicada



LIBRO RESULTADO DE INVESTIGACIONES

Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables



Walner Enrique López Mena

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9931-8900>

Magíster en Ciencias Ambientales de la Universidad Popular del Cesar y el Sistema Estatal Universitario del Caribe. Graduado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental por la Universidad de la Costa. Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental por la Universidad del Norte. Se desempeñó como docente del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar por más de 15 años. En esta institución impartió asignaturas como: Procesos Químicos y Biológicos, Química Sanitaria Evaluación de Impacto Ambiental y Mecánica de Fluidos, entre otras. También se ha destacado como diseñador de Instalaciones Hidrosanitarias de Edificaciones durante más de 20 años.



Yim James Rodríguez Díaz

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4463-0077>

Profesor del Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas de la Universidad Popular del Cesar (UPC) Colombia desde el año 2003. Magíster en Ingeniería Ambiental (Universidad del Zulia, 2011). Doctor en Educación de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Actualmente Coordinador Interinstitucional de la Maestría en Ciencias Ambientales de la Red SUE-Caribe. Consultor Ambiental. Profesor del curso electivo Educación Ambiental en la Maestría en Educación y Ciencias Ambientales de la Universidad Popular del Cesar de la Red SUE-Caribe. En el área de investigación ha publicado diversos artículos científicos relacionados con la gestión.



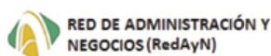
Yimy Gordon Hernández

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6156-0971>

Doctor en Ciencias Gerenciales. Magíster en Gerencia de Empresas. Especialista en Gerencia de Negocios Internacionales. Ingeniero Mecánico de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Docente de Carrera de la Universidad Popular del Cesar – Investigador del Grupo: FACEUPC. Investigador Asociado por Minciencias – Valledupar – Cesar
Correo: yimygordon@unicesar.edu.co.



Universidad Nacional Experimental Sur del Lago
"Jesús María Semprun"
La Casa de los Saberes del Pueblo




Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables


Walner Enrique López Mena
Yim James Rodríguez Díaz
Yimy Gordon Hernández

Colección Unión Goblal

Libro resultado de investigaciones

Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

 *Walner Enrique López Mena, Yim James Rodríguez Díaz y Yimy Gordon Hernández*

 Colección Unión Global



Usted es libre de:

Compartir – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

Adaptar – remezclar, transformar y construir a partir del material.

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Como citar: López Mena, W E., Rodríguez Díaz, Y J. y Gordon Hernández, Y. (2023). Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Jesús María Semprum (UNESUR). <https://doi.org/10.59899/Alm-orga>

Producción editorial:

Fondo Editorial Universitario de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprum (UNESUR)

Director: M.SC. Álvaro González.

Santa Bárbara del Zulia - Estado Zulia - Venezuela

Página WEB: <https://www.unesur.edu.ve/>

Editor: Victor Hugo Meriño Córdoba

Editor técnico: Carlos Alfredo Mora Fernández

Diagramación: Fondo Editorial Universitario del Centro de Investigaciones Internacionales -FEUCEDIN-TER)

HECHO EL DEPÓSITO DE LEY

Depósito legal: ZU2023000261

ISBN: 978-980-6516-91-5

Versión digital, hecha en Santa Bárbara de Zulia, Venezuela

Catalogación de la fuente

Título: Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

Autores: Walner Enrique López Mena, Yim James Rodríguez Díaz y Yimy Gordon Hernández

Colección: Unión Global.

Publicación: Santa Bárbara de Zulia (Venezuela) : Fondo Editorial de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Jesús María Semprum (UNESUR), 2023.

Grupos de investigación que dan aval académico: Universidad Sur del Lago "Jesús María Semprum" (UNESUR) - Zulia - Venezuela; Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kleber Ramírez (UPTM) - Mérida - Venezuela; Universidad Guanajuato (UG) - Campus Celaya - Salvatierra - Cuerpo Académico de Biondesarrollo y Bioeconomía en las Organizaciones y Políticas Públicas (CABBOPP) - Guanajuato - México; Cuerpo Académico Consolidado "Administración Aplicada" (CUADAP) - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - Puebla - México; Red de Administración y Negocios (RedAyN) - Universidades Mexicanas - México; Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) - Cuerpo Académico Sociedad, Educación y Desarrollo (CASED) - Tepic - Nayarit - México; Centro de Altos Estudios de Venezuela (CEALEVE) - Zulia - Venezuela; Centro Integral de Formación Educativa Especializada del Sur (CIFE - SUR) - Zulia - Venezuela y el Centro de Investigaciones Internacionales SAS (CEDINTER) - Antioquia - Colombia.

Descripción física: 80 páginas, 21cm.

ISBN: 978-980-6516-91-5

Depósito legal: ZU2023000261

Notas:

Incluye referencias bibliográficas

Catálogo ISBN CENAL: <http://isbn.cenal.gob.ve/catalogo.php?mode=detalle&nt=150230>

Catálogo Gestión del Conocimiento: <https://gestconocimiento.org/publicaciones/978-980-6516-91-5/>

Clasificación Dewey: 668.1

Clasificación LC: TP1185.S86

Clasificación THEMA: TG = Tecnología, ingeniería, agricultura - Tecnología: cuestiones generales - Tecnología: cuestiones generales - Tecnología y medio ambiente.

Proceso de evaluación de los capítulos de libros

El libro Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables, de la Colección Unión Global, es **resultado de investigaciones**. Los capítulos del libro son resultados de investigaciones desarrolladas por sus autores. El libro fue arbitrado por doctores de distintas Universidades del mundo bajo el sistema **doble ciego**. El Libro tiene el **Aval Académico de 7 Universidades Públicas Internacionales y de 3 Centros de Investigaciones Internacionales**, mencionados a continuación: Universidad Sur del Lago "Jesús María Semprúm" (UNESUR) - Zulia - Venezuela; Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kleber Ramírez (UPTM) - Mérida - Venezuela; Universidad Guanajuato (UG) - Campus Celaya - Saltillo - Cuerpo Académico de Biotecnología y Bioeconomía en las Organizaciones y Políticas Públicas (CABBOPP) - Guanajuato - México; Cuerpo Académico Consolidado "Administración Aplicada" (CUADAP) - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - Puebla - México; Red de Administración y Negocios (RedAyN) - Universidades Mexicanas - México; Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) - Cuerpo Académico Sociedad, Educación y Desarrollo (CASED) - Tepic - Nayarit - México; Centro de Altos Estudios de Venezuela (CEALEVE) - Zulia - Venezuela; Centro Integral de Formación Educativa Especializada del Sur (CIFE - SUR) - Zulia - Venezuela y el Centro de Investigaciones Internacionales SAS (CEDINTER) - Antioquia - Colombia. Los conceptos o criterios emitidos en el libro son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Proceso de arbitraje: doble ciego

Recepción: enero de 2023

Evaluación de propuesta: febrero de 2023

Evaluación de contenidos: marzo de 2023

Correcciones de autor: marzo de 2023

Aprobación: abril de 2023

Publicación: septiembre de 2023

Repositorios de los libros Unión Global

- 1.- Universidad Sur del Lago de Maracaibo Jesús María Semprúm - UNESUR - Santa Bárbara - Zulia - Venezuela. Libros. Ver: <https://www.unesur.edu.ve/libros-1>
- 2.- Corporación Universitaria Antonio José de Sucre - CORPOSUCRE - Sincelejo - Sucre - Colombia. Ver: <https://www.uajs.edu.co/investigacion/publicaciones>
- 3.- Corporación Universitaria del Caribe - CECAR - Sincelejo - Sucre - Colombia. Libros digitales. Ver: <https://biblioteca.cecar.edu.co/busqueda/recursos-electronicos/libros-digitales.html>
- 4.- Centro de Investigaciones Internacionales - CEDINTER - Medellín - Antioquia - Colombia. Ver: <https://www.cedinter.com/books/>
- 5.- Gestión del conocimiento - CEDINTER - Medellín - Antioquia - Colombia. Ver: <https://www.gestconocimiento.org/publicaciones>

Fondo Editorial Universitario de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprúm – Santa Bárbara del Zulia – Estado Zulia – Venezuela

Consejo director

Director: Dr. Edgar A. Martínez M. **Editor:** Dr. Jesús Ángel Timaure Eburíola

Comité editorial

Director: M. Sc. Álvaro González

Pares evaluadores

Dr.

Dr. Héctor Luis Romero Valbuena / Universidad Industrial de Santander / Colombia
Dr. Heriberto Moreno Islas / Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / México.
Dr. Hernán Joaquín Carrillo Hernández / Universidad de La Guajira / Colombia
Dra. Isabel Cristina Rincón Rodríguez / Universidad de Santander / Colombia
Dra. Ivonne María Gil Osorio / Universidad Libre de Barranquilla / Colombia
Dra. Jennifer Judith Lafont Mendoza / Universidad de Córdoba / Colombia
Dr. Jesús Ángel Timaure Eburíola / UNERMB / Venezuela
Dr. Jorge Bernal Peralta / Universidad de Tarapacá / Chile
Dr. José Manuel Gutiérrez / Universidad del Zulia / Venezuela
Dr. Juan Morúa Ramírez / Universidad de Guanajuato / México
Dr. Julio César Montiel Flores / Universidad de Guanajuato / México
Dr. Luis Alberto Romero Benjumea / Universidad Popular del Cesar / Colombia
Dr. Luis E. Oviedo-Zumaqué / Universidad de Córdoba / Colombia
Dra. Nelia Josefina González González / Universidad de Milagro / Ecuador
Dra. Oditza Nacrina Bracho Vega / UNERMB / Venezuela
Dr. Pilar H. Moreno U. / Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / México
Dr. Rafael Alberto Vílchez Pirela / Corporación Universitaria del Caribe / Colombia
Dr. Roberto Godínez López / Universidad de Guanajuato / México
Dr. Rodrigo Daniel Salgado O. / Corporación Universitaria del Caribe / Colombia
Dr. Romel Ramón González Díaz / Universidad del Sinú / Colombia
Dra. Rosangel Beatriz Martínez Basabe / UNERMB / Venezuela
Dr. Samuel P. Hernández-Rivera / Universidad de Puerto Rico / Puerto Rico
Dra. Teresa De J. Vargas V. / Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / México
Dra. Yahilina Silveira Pérez / Universidad de Sucre / Colombia
Dr. Héctor Luis Romero Valbuena / Universidad Industrial de Santander / Colombia
Dr. Heriberto Moreno Islas / Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / México.

Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprúm”

UNESUR

Edgar Alexander Martínez Meza
Rector

Luz Marvella Sanabria de Salcedo
Vicerrectora Académica

Ángel Antonio Watts Godin
Vicerrector de Desarrollo Territorial

Diomer Antonio Galán Rincón
Secretario General

Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kléber Ramírez

UPTM

Ángel Zuley Antúnez Pérez
Rector

Walter Espinoza
Vicerrector Académico

Iván López
Secretario General

Deny Avendaño
Responsable de Desarrollo Territorial

Cuerpo Académico de Bidesarrollo y Bioeconomía en las Organizaciones y Políticas Públicas Campus Celaya – Salvatierra – Guanajuato – México

CABBOPP

Responsable

Dr. Mario Jesús Aguilar Camacho

Miembros

Dr. José Enrique Luna Correa

Dr. Saúl Manuel Albor Guzmán

Dr. Roberto Godínez López

Dra. Eva Lozano Montero

Dr. Eduardo Barrera Arias

Dra. Alba María del Carmen González Vega

Dr. Julio César Montiel Flores

Cuerpo Académico Consolidado “Administración Aplicada”

CUADAP

CA-BUAP-299

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla – Puebla - México

Responsable

Dr. Alfredo Pérez Paredes

Miembros

Dr. José Aurelio Cruz de los Ángeles

Dr. Amado Torralba Flores

Dr. Emigdio Larios Gómez

Cuerpo Académico en Consolidación “Sociedad, Educación y Desarrollo”

CASED UAN-CA-287

Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México

Responsable
Dra. Ana Teresa Sifuentes Ocegueda

Miembros
Dra. Rocío Mabeline Valle Escobedo
Dra. Emma Lorena Sifuentes Ocegueda
Mtra. Raquel Castañeda Ibarra
Mtra. Laura Esther García Gómez

Red de Administración y Negocios

RedAyN

Universidades Mexicanas - México

Dra. Luz del Carmen Morán Bravo
Presidenta

Centro de Altos Estudios de Venezuela

CEALEVE

Víctor Hugo Meriño Córdoba
Director General

Centro Integral de Formación Educativa Especializada del Sur

CIFE - SUR

Edgar Alexander Martínez Meza
Director General

Centro de Investigaciones Internacionales SAS

CEDINTER SAS

Víctor Hugo Meriño Córdoba
Director General

Índice

Introducción.....	21
CAPÍTULO I: Una mirada a los almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables.....	23
Los polímeros.....	23
Los plásticos.....	23
A. Microplásticos.....	24
B. Plásticos de un solo uso.....	24
C. Los bioplásticos.....	24
Almidón.....	25
A. Gelatinización del almidón.....	26
Ñame.....	27
Mango.....	27
A. Impacto ambiental.....	28
i. Evaluación de impacto ambiental.....	29
iii. Clasificación de los impactos ambientales.....	31
iv. Clasificación de los métodos de evaluación de impactos ambientales.....	31
CAPÍTULO II: Tendencias de los almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables.....	37
Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa (Holguín, 2019)...	38
Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (Ruiloba et al., 2018).....	39
Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca (Ruiz, 2006).....	40
CAPÍTULO III: Materiales y métodos.....	43
Etapa 1: determinación de las proporciones óptimas de los materiales necesarios para la elaboración de bioplásticos hechos de almidones de ñame y mango.....	43

Etapa 2: determinación de la velocidad de biodegradación de los distintos plásticos elaborados con base en almidones de ñame y mango...	45
Etapa 4: evaluación del impacto ambiental de la producción de los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango.....	46
CAPÍTULO IV: Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones.....	47
Resultados.....	47
Discusión.....	62
Conclusiones.....	73
Recomendaciones.....	75
Referencias.....	77

Lista de figuras

Figura 1. Definición de impacto ambiental	28
Figura 2. Diagrama de cuerpo libre sobre una barra prismática donde sólo actúan fuerzas externas axiales P.....	33
Figura 3. Diagrama de esfuerzo – deformación nominal del acero.....	35
Figura 4. Esfuerzo nominal contra deformación unitaria nominal del bioplástico del almidón de mango.	50
Figura 5. Esfuerzo nominal contra deformación unitaria nominal del bioplástico del almidón de ñame.....	50
Figura 6. Degradación del bioplástico de mango en medio acuático y suelo..	53
Figura 7. Degradación del bioplástico de ñame en medio acuático y suelo....	54
Figura 8. Procesos para la elaboración de los bioplásticos de yuca, ñame, papá, y mango.....	55
Figura 9. Equivalencia cuantitativa de las características de los impactos ambientales para la determinación de su importancia.....	60
Figura 10. Escala para el juicio de valor de los impactos ambientales.....	61
Figura 11. Pruebas para la obtención de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de mango....	63
Figura 12. Pruebas para la obtención de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de ñame.....	64

Lista de tablas

Tabla 1. Contenido de amilosa de diferentes almidones.....	25
Tabla 2. Temperatura de gelatinización de diferentes almidones.....	26
Tabla 3. Pruebas de determinación de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de mango.....	47
Tabla 4. Pruebas de determinación de las proporciones óptimas en la elaboración del bioplástico a partir del almidón de ñame.....	48
Tabla 5. Deformaciones del bioplástico de almidón de mango debido a carga axial.....	49
Tabla 6. Deformaciones del bioplástico de almidón de ñame debido a carga axial.....	49
Tabla 7. Valores de las elongaciones a los diferentes esfuerzos a los que se sometió el bioplástico de mango.....	51
Tabla 8. Resumen de los parámetros a partir de los cuales se realizó el análisis de varianza para el bioplástico de mango.....	51
Tabla 9. Análisis de varianza de las deformaciones unitarias a los distintos esfuerzos sometidos al bioplástico de mango.....	51
Tabla 10. Valores de las elongaciones a los diferentes esfuerzos a los que se sometió el bioplástico de ñame.....	52
Tabla 11. Resumen de los parámetros a partir de los cuales se realizó el análisis de varianza para el bioplástico de ñame.....	52
Tabla 12. Análisis de varianza de las deformaciones unitarias a los distintos esfuerzos sometidos al bioplástico de ñame.....	52
Tabla 13. Costos de elaboración de 1 Kg de bioplástico de almidón de mango o ñame.....	52
Tabla 14. Identificación de los aspectos ambientales de la producción de bioplásticos de almidón.....	56
Tabla 15. Factores ambientales afectados por la elaboración de bioplásticos de almidón.....	57

Tabla 16. listado de impactos ambientales asociado a las actividades de producción de bioplásticos de almidón.....	59
Tabla 17. valoración y normalización de los impactos causados por la elaboración del bioplástico de almidón.....	62
Tabla 18. Medidas de manejo para los impactos provocados por la fabricación de bioplásticos.....	70

Introducción

Una de las preocupaciones de la humanidad de finales del siglo XX e inicios del XXI ha sido el calentamiento global. El aumento en el consumo de los combustibles fósiles es uno de los factores que favorecen la aparición de dicho fenómeno. Su utilización genera toneladas de dióxido de carbono, el cual es un gas cuyo exceso en la atmósfera provoca la alteración del efecto invernadero. La mayoría de los plásticos son elaborados a partir de combustibles fósiles; se dice que, el 99 % del total de los plásticos producidos en el mundo, provienen de ellos (Ballesteros, 2014), siendo el tercer uso más habitual del petróleo en el planeta (Pluas, Martínez, y Zambrano , 2020).

El impacto ambiental debido al uso de los plásticos hechos de petróleo no se circunscribe al componente aire. De los 300 millones de toneladas que se estima se producen en el globo, 13 millones van a dar a los océanos (ONU medio ambiente, 2018). El problema empeora cuando sabemos que la mayoría de plásticos no se biodegradan, sino que se fragmentan hasta finalmente descomponerse, lo que podría tardar hasta 500 años en un ambiente natural (Segura, Noguez, y Espín, 2007). La disposición controlada en rellenos sanitarios ayuda a mitigar el problema, pues el tiempo de descomposición disminuye considerablemente, pasando a unos 50 años (Elías y Jurado, 2012). Sin embargo, esta solución no es integral, ya que disminuye la vida útil de los sitios y causa problemas operativos (Ferro, Toledo, y Cadalso, 2008).

Aunque el reciclaje de los plásticos es otra alternativa, la dificultad de su gestión afecta su viabilidad. La contaminación de los plásticos con otros residuos hace necesario lavarlos para poder aprovecharlos, encareciendo el valor del reciclaje. Con una buena segregación del plástico en su fuente de generación se resolvería lo anterior, pero, ante las más de 100 familias de plásticos existentes, hace que el reciclaje sea más complicado de lo que parece, requiriendo entrenamiento y experiencia para un buen resultado (Elías y Jurado, 2012; Ballesteros, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación evalúa la viabilidad de los plásticos elaborados a partir de polímeros biodegradables (bioplásticos), como lo son los almidones de ñame y mango. La intención es analizar una alternativa para la disminución de la dependencia a los combustibles fósiles y así ayudar a mitigar los efectos del calentamiento global. Es necesario aclarar que la elaboración de los bioplásticos se adelantó siguiendo la técnica

tradicional, la cual consiste en la mezcla de los ingredientes y posterior calentamiento para su obtención. Sin embargo, la literatura reporta bioplásticos elaborados con almidones modificados en búsqueda de mejorar sus características físicas, usualmente mediante la adición de un agente químico o a través de cambios en la presión y temperatura de fabricación. Pero ésta no es la única técnica probada, las indagaciones han llevado a la fabricación de los bioplásticos adicionando materiales fibrosos, preferiblemente orgánicos; conociéndose como proceso de matriz reforzada. Al igual que la anterior, la intención es mejorar su resistencia y otras características mecánicas (Holguín, 2019).

Y el momento para la búsqueda planteada es inmejorable, el marco jurídico que ha surgido alrededor del mundo que pretende desincentivar el uso de los plásticos en la actualidad, en especial, el de las bolsas plásticas de un solo uso, favoreció la realización de estas indagaciones. En este sentido, el gobierno colombiano a través del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, expidió la resolución 0668 de 2016, con intención de implementar un programa de uso racional de bolsas plásticas y generar estrategias económicas para disminuir su uso. Dicha acción, abre espacio para que surjan opciones distintas a las bolsas plásticas tradicionales como las fabricadas con polímeros biodegradables.

La investigación valida usos distintos para los almidones previamente listados, que pueden ser extraídos de tubérculos y las frutas descartadas. Reforzando esto último, vale la pena decir que, de acuerdo con los datos presentados por Aristizábal y Sánchez (2007), las pérdidas postcosecha de la yuca ascienden a un 13 %, y sostienen además que, de acuerdo a las proyecciones poco alentadoras de crecimiento del cultivo, se hace necesario la generación de nuevos mercados y productos que entreguen mayor valor agregado, como lo pretenden estos ensayos.

Además, la documentación de usos distintos al alimenticio de las frutas y tubérculos de interés de esta investigación, podría favorecer de manera indirecta al desarrollo industrial de los cultivos. Tanto el ñame como la yuca, por ejemplo, siguen presentando bajo desarrollo en las técnicas de cultivo en la mayoría de países donde se labra (Aristizábal y Sánchez, 2007; Mendoza y Ortiz, 2020). De ahí que es fácil inferir que, exploraciones como la nuestra, incentivarían a mejorar las técnicas de producción, en busca de mejores rendimientos de los cultivos por hectárea.

Finalmente, este documento descifra cuál de los bioplásticos podría ser el más conveniente. Para ello, se sometieron a pruebas de esfuerzo los distintos materiales y se consideró el impacto ambiental que causaría su fabricación; por último, los resultados se compararon entre sí; reconociendo, además, el valor de la fabricación de los mismos. El desarrollo de las experiencias fue esencialmente doméstico, cuidando al máximo la homogeneidad de las pruebas.

CAPÍTULO I

Una mirada a los almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

En este capítulo se presentan conceptos disciplinares que orientan teóricamente el desarrollo del libro.

Los polímeros

Los polímeros son compuestos químicos, de origen sintético o natural, que se forman por la unión repetida de moléculas denominadas monómeros. Como ejemplo de polímeros naturales se podría citar a la seda o el caucho, y como sintéticos: al nailon o el plástico. Los polímeros, de acuerdo con Cornejo, Marinero, Funes, y Toruño (2020) se pueden clasificar en: termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los primeros, es decir los termoplásticos, pueden moldearse más de una vez y se caracterizan por ser resistentes a pesar de su baja densidad; los termoestables se transforman químicamente al ser sometidos al calor y no pueden moldearse una vez se han solidificado, y los elastómeros se caracterizan por sus propiedades elásticas.

Los plásticos

Plástico es el nombre genérico y común que se le da a una serie de sustancias de estructura molecular y características físico-químicas semejantes, cuya mayor virtud es contar con elasticidad y flexibilidad durante un intervalo de temperaturas, permitiendo así su moldeado y adaptación a diversas formas. Este nombre proviene de su eminente plasticidad, es decir, su facilidad para adquirir ciertas formas.

Los plásticos son, concretamente, materiales sintéticos y derivados del petróleo, obtenidos mediante procesos de polimerización, es decir, de multiplicación semi-natural de largas cadenas de átomos de carbono, dando así origen a una sustancia orgánica maleable en caliente y resistente en frío.

Este material es sumamente versátil, gracias a su liviandad, tacto agradable y resistencia tanto a la degradación biológica como a la ambiental (excepto por la exposición prolongada a rayos UV).

A. Microplásticos

Son los fragmentos de plásticos con tamaño menor a 5 mm, originados por la foto-degradación del material, que persisten en el ambiente, especialmente, en ecosistemas marinos y acuáticos (Segura et al., 2007; United Nations Environmental Programme [UNEP], 2018)

B. Plásticos de un solo uso

Son los plásticos comúnmente empleados para el empaque de mercancías u objetos. Se incluyen aquellos que tienden a ser usados una sola vez antes de ser descartados o reciclados. Ejemplo de este tipo de plástico pueden ser: las bolsas de polietileno de alta densidad que suministraban los supermercados para facilitar el transporte de los artículos comprados por sus clientes, empaques de poliestireno usados para entrega a domicilio de comida, pitillos, botellas, cubiertos de plásticos, etc. (UNEP, 2018).

C. Los bioplásticos

La International Standard Organization [ISO] (como se citó en Rodríguez A., 2012) define como bioplástico a aquellos plásticos que se pueden degradar por la intervención de microorganismos; es decir, se refiere a aquellos plásticos que, por acción enzimática de los microorganismos, se transforman en dióxido de carbono, agua, metano, nuevos organismos o nuevos compuestos orgánicos (Ruiz, 2006).

Los bioplásticos también se pueden definir como aquellos plásticos que proceden de una base biológica, es decir, de recursos renovables. Las fuentes de dichos recursos renovables pueden ser: carbohidratos, como por ejemplo el almidón, el azúcar de caña y la celulosa; proteínas, como la gelatina, la seda y la lana; y los lípidos, como los aceites vegetales. (Cornejo, et al., 2020)

Además, de la fuente de la materia prima con la que se elaboran, los bioplásticos también se podrían clasificar según su forma y grado de biodegradabilidad. Es así que se tienen cuatro tipos de plásticos biodegradables: fotodegradables, semibiodegradables, biodegradables sintéticos y completamente biodegradables naturales (Rodríguez A., 2012).

En su composición química, los plásticos fotodegradables presentan grupos sensibles a la luz ultravioleta, propiciando la desintegración en pocas semanas de la estructura polimérica, llevándolos a convertirse en pequeños fragmentos que incluso podrían ser metabolizados por algunas bacterias. Los semibiodegradables se componen de azúcares unidos a fragmentos de polietileno, los azúcares son consumidos por las bacterias dejando expuestos los fragmentos de polietileno. Los biodegradables sintéticos en cambio, están basados en alcohol polivinílico, el cual ofrece una configuración parecida a la del polietileno. La presencia del alcohol convierte a este tipo de plástico en soluble en el agua. Finalmente, los completamente biodegradables se descomponen en dióxido de carbono, agua y metano, luego de ser usados por los microorganismos como fuente de energía para el desempeño de sus funciones vitales (Rodríguez A. , 2012).

Almidón

El almidón es una molécula de gran tamaño, denominada macromolécula, formada por dos polímeros de glucosa; uno de ellos es la amilopectina, que se encuentra en una proporción de hasta 3 a 1 con respecto al segundo, la amilosa. El almidón es básicamente la forma como los vegetales almacenan su energía (Wikipedia, 2019).

Tabla 1

Contenido de amilosa de diferentes almidones

Producto	Contenido de amilosa %
Yuca	14 - 23
Ñame	26 - 28
Papa	20 - 26
Mango	11 - 16

Modificado de Alvis, Vélez, Villada y Rada-Mendoza (2008); Ruiloba, Li, Quintero, y Correa (2018) y Cornejo et al. (2020)

Los almidones se pueden encontrar en los cereales y tubérculos, siendo, además, una de las fuentes principales de calorías para el ser humano. (EcuRed, 2019). Hay quienes distinguen a este polisacárido según de donde provengan, cuando se extraen de cereales (granos) se les denomina almidón; y fécula, cuando se extrae de tubérculos (Holguín, 2019).

Teniendo en cuenta su tamaño, que oscila alrededor de 0,5 a 100 μm , son insolubles en agua a temperatura ambiente (Holguín, 2019). Sin embargo, cerca de los 190°C es cuando es apreciable el aumento de la solubilidad de los almidones (Ruiz, 2006).

Las propiedades mecánicas de los almidones dependen del contenido de amilosa y amilopectina, siendo esta última la de mayor incidencia ya que se encuentra en mayor proporción (Canónico, 2003). La amilosa y la amilopectina son las responsables de la elasticidad y semicristalinidad del almidón (García, 2015).

A. Gelatinización del almidón

El almidón no es soluble en agua fría, pero en agua caliente a una temperatura específica, los gránulos que lo componen se hinchan de manera irreversible formando un gel, a este fenómeno se le denomina gelatinización (Ruiz, 2006). Lo que ocurre, más específicamente, es que las partículas de amilosa que se encuentran más externas en los granos de almidón, salen, difundiendo hacia el agua que la rodea, favoreciendo el aumento de la viscosidad de la mezcla (Bejarano, 2014); posteriormente, la amilopectina, que se encuentra más interna, sigue hidratándose, contribuyendo al incremento continuo de la viscosidad hacia el final del proceso (Canónico, 2003).

La temperatura en la cual se produce la gelatinización es característica para cada almidón (Bejarano, 2014), y esta varían en un rango de 5 a 10 °C (Canónico, 2003) como se describe en el siguiente cuadro:

Tabla 2

Temperatura de gelatinización de diferentes almidones

Almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Arroz	61 - 78
Maíz	62 - 72
Papa	58 - 75
Yuca	52 - 75
Ñame	71 - 80
Sorgo	68 - 75
Trigo	52 - 63

Modificado de Universidad Nacional de Misiones (como se citó en Bejarano, 2014) y Vargas y Hernández (2013)

La gelificación es un proceso necesario para la elaboración de materiales bioplásticos, pues mejora sus propiedades mecánicas como, por ejemplo, la resistencia a la tracción. (Bejarano, 2014) lo expresa textualmente como “un cambio positivo” al referirse a los estudios citados por Meneses, Corrales y Valencia (2007).

Ñame

El Ñame es una planta de enredadera de origen africano y asiático con la particularidad de poseer tubérculos aéreos y subterráneos que sirven de reserva energética (Acevedo, Sandoval y Salcedo, 2014). El tubérculo subterráneo es una adaptación de estas plantas a los periodos secos, lo que lo convierte en una fuente de carbohidratos para la población en épocas de estiaje (Rodríguez W., 2000).

Según Cabrera (como se citó en Acevedo et al., 2014), sólo los tubérculos subterráneos son útiles para consumo y reproducción de la planta.

Del ñame se conocen seis géneros, siendo el más importante: Dioscorea. De este género se han identificado unas 600 especies, reconociéndose sólo 12 como comestibles, esto de acuerdo con Rodríguez W. (2000).

Para los pueblos de África occidental y central, el ñame era la principal fuente de carbohidratos antes de la introducción de otros cultivos de raíces comestibles (Acevedo et al., 2014). En cambio, en Colombia es considerado un tubérculo sustituto de la Papa y de la Yuca (Aranza, 2012).

Debido al contenido de sapogeninas, el ñame podría ser usado en la industria farmacéutica en la fabricación de esteroides, a pesar de esto, no hay evidencias de usos industriales del tubérculo (Aranza, 2012); su uso principal se centra en preparaciones comestibles tradicionales y algunos productos de panadería (Alvis et al., 2008).

El tipo de semilla y de suelo, junto con las técnicas de siembra, convierten a Colombia en el país con la tasa de rendimiento más alto del cultivo de ñame en el mundo. El rendimiento supera las 28 toneladas por hectárea cultivada (Acevedo et al., 2014), desarrollándose principalmente en los departamentos de: Bolívar, Córdoba y Sucre; donde, alrededor de 20.000 familias se dedican a la producción del tubérculo, lo anterior según Doncel y Pérez (como se citó en Mendoza y Ortiz, 2020).

Mango

El mango es una fruta con alto valor nutritivo, es rica en vitaminas A, C y E, estas últimas con gran poder antioxidante. El fruto proveniente de la planta mangífera indica, posee una sustancia denominada maguiferina, la cual ha demostrado en pruebas de laboratorio, su poder antioxidante, antiviral, antitumoral e inmunomodulador (Sumaya, Sánchez, Torres, y García, 2012).

Según datos de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, (como se citó en Corrales, Maldonado, Urango, Franco, y Rojano, 2014), el mango es una de las frutas más populares del mundo y la que más se cultiva en la zona tropical, seguida por: el banano, la piña, papaya y aguacate. La producción global de mango se estima en más de 27 millones de toneladas por año, de las cuales Colombia aporta unas 239 mil toneladas en

ese periodo. Esto lo convierte en el vigésimo productor de la fruta en el mundo, a pesar de que el 39 % del cultivo son plantaciones silvestres.

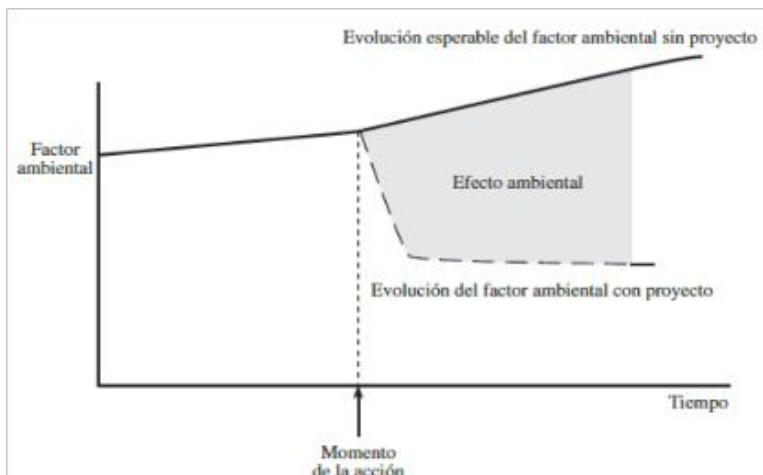
Otro dato para reafirmar la popularidad del mango es que alrededor del 9 % de la población colombiana lo consume a una tasa de 148 g por día (Corrales et al., 2014). Sin embargo, todo esto tiene su precio; los desperdicios del mango van de un 40 % por su consumo en fresco (Sumaya et al., 2012) hasta un 55 % luego de su aprovechamiento en la industria de pulpas y jugos (Mejía, Martínez, Betancourt, y Castrillón, 2007), ocasionando problemas en la gestión de residuos sólidos en los lugares donde se generan.

A. Impacto ambiental

Es la alteración que provoca una acción humana sobre cualquier factor del ambiente, la cual puede ser benéfica o perjudicial (Garmendia, Salvador, Crespo, y Garmendia, 2005). En términos prácticos, el impacto ambiental sería la diferencia entre el valor que la calidad ambiental del factor habría tenido en caso de ser afectado, y el valor que el mismo factor habría tenido si no se ejecutara la acción que se propone; como se aprecia en la Figura 1. Sin embargo, por acción o actividad humana puede entenderse, entre otras actividades: un proyecto de ingeniería, un plan, programa, una ley o cualquier acción administrativa (Conesa, 1993).

Figura 1

Definición de impacto ambiental



Tomado de (Garmendia et al., 2005)

i. Evaluación de impacto ambiental

Existen muchas definiciones para el término las cuales abarcan diferentes enfoques. Sin embargo, tienen aspectos en común que permiten aclarar su significado. Para muchos, la evaluación de impacto ambiental es un proceso; es decir, tiene etapas dependientes entre sí, cuyo objetivo es predecir los impactos ambientales que cualquier acción humana podría ocasionar sobre el entorno.

Pero el proceso no termina con la predicción propiamente dicha, sino que encierra la valoración de la magnitud del impacto para saber si este puede ser tolerado por el entorno; o si se quiere, por la comunidad y/o autoridades competentes (Conesa, 1993). Lo último implica que la evaluación del impacto ambiental, sea por sí misma, un instrumento para la toma de decisiones (Garmendia et al., 2005), o de acuerdo con Peinado (como se citó en Arboleda, 2008), un proceso que introduce la variable ambiental en la toma de decisiones.

Finalmente, otro aspecto en común en las definiciones de evaluación de impacto ambiental es su integralidad. El proceso además de identificar previamente los impactos se ocupa de entregar alternativas de solución a los mismos. Las alternativas de solución se entienden como acciones encaminadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales descritos (Figueroa, Contreras, y Sánchez, 1998).

ii. Tipos de impacto ambiental

Se sigue la tipología descrita por Conesa (1993), la cual no es exhaustiva ni excluyente, interpretándose que pueden existir otras, y que, a su vez, un impacto podría pertenecer a varios tipos. Entonces, de acuerdo a lo anterior los impactos se dividen así:

Según la variación en la calidad ambiental que producen

Aquí se encuentran los impactos positivos y negativos, siendo los primeros aquellos que al presentarse ocasionan una mejoría en la calidad del ambiente.

Según la intensidad o grado de destrucción del factor ambiental que ha sido modificado por el impacto

la determinación del grado de intensidad surgiría de la comparación de los valores que tendría el factor o elemento del ambiente, antes de recibir el impacto, y el que tendría después de recibirlo. la magnitud de dicha destrucción se expresa en términos cualitativos que sugieren la proporción del impacto. encontramos una gradación entre mínimo y muy alto.

Según la extensión del impacto

Se refiere al área que se ve afectada por el impacto de manera directa, categorizándose cualitativamente desde puntual hasta total, según el

tamaño del impacto en relación con el área de influencia de la actividad que lo produjo.

De acuerdo con el momento en que se manifiesta

Este tipo de impacto valora el tiempo, específicamente el transcurrido entre el inicio de la actividad y la manifestación del impacto. Cualitativamente se diferencia entre impactos inmediatos y latentes.

Según la duración del impacto

Nuevamente se valora el tiempo, pero tiempo de vida del impacto. Es decir, que tanto tiempo transcurre desde que aparece hasta que desaparece el impacto. Aquí se clasifican los impactos de manera cualitativa en: temporales y permanentes.

De acuerdo con su capacidad de recuperación

Se distinguen entre los impactos cuyos factores afectados pueden retornar a su condición original y los que no, ya sea de manera natural o por intervención antrópica. Para referirse a la capacidad de recuperación se emplean los términos: recuperables o reversibles.

De acuerdo con su relación causa - efecto

Para este tipo de impactos se mide si hay un vínculo directo, o no, entre la variación del elemento o factor ambiental afectado y la actividad humana sometida al escrutinio. Adicionalmente lleva implícitas las variables de tiempo y espacio, toda vez que, aquellos impactos con relación directa, afectan de forma inmediata el área donde se ejecutan las acciones que se pretenden valorar.

Según su capacidad de afectar factores ambientales y de relacionarse con otros impactos

Esta categoría valora la cantidad de factores ambientales que una acción podría afectar. Igualmente, si el factor o factores afectados, en presencia de la misma acción que lo deterioró, empeora en el tiempo. También, si el impacto generado por la acción evaluada genera un tercer impacto al estar en presencia de otro, o, si las consecuencias de la asociación de esos dos impactos son peores de lo que se esperaría. Cualitativamente se asocia este tipo de impacto con las palabras: simple, acumulativo y sinérgicos.

De acuerdo con su periodicidad

Aluden a la regularidad con que se manifiestan los impactos en el tiempo. En esta categoría se discriminarían en continuos y discontinuos. Los últimos se subdividirían en periódicos y los de aparición irregular.

iii. Clasificación de los impactos ambientales

La tipología de los impactos ambientales servirá para determinar la magnitud del mismo. esto de acuerdo con (Garmendia et al., 2005). Esta magnitud, en conjunto con la importancia del factor ambiental afectado, servirán para categorizar los impactos ambientales en:

Críticos

si se pierde la calidad ambiental del factor de manera permanente, aun mediante medidas correctoras

Severos

son aquellos impactos que requieren medidas correctoras para la recuperación de la calidad ambiental, pero la recuperación del factor le toma un periodo considerable de tiempo.

Moderado

Son impactos para los cuales no se requieren medidas correctoras. Sin embargo, para categorizar a un impacto aquí, el tiempo que le tome a la recuperación natural no debe ser largo.

iv. Clasificación de los métodos de evaluación de impactos ambientales

Al igual que la tipología de impactos ambientales, los métodos de evaluación de los impactos ambientales podrían ser organizados de diferentes maneras. Aquí se toma la propuesta por Arboleda (2008), la cual los agrupa en:

Métodos directos

los que valoran, explícitamente, el impacto identificado.

Métodos indirectos

se refieren a aquellos métodos que no se ocupan directamente del impacto ambiental y si de la interacción de la acción que los provoca con el ambiente.

B. Mecánica de materiales

Es la rama de la física que se ocupa del comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a cargas. Esta rama también se le conoce como: resistencia de materiales o mecánica de los cuerpos deformables. Por medio de la mecánica de materiales se busca determinar los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos; esto, para poder diseñar estructuras capaces de resistir las cargas a las que serán sometidas dichos cuerpos (Gere y Goodno, 2009).

i. Elasticidad

Los cuerpos están compuestos por moléculas entre las cuales actúan fuerzas. Estas fuerzas intramoleculares son las que se oponen a las fuerzas externas que intentan producir cambios en las formas del mismo. Si las fuerzas exter-

nas superan a las intramoleculares, la forma de los cuerpos cambia. A este cambio se le denomina deformación, y continuará hasta que ambas fuerzas se equilibren. Cuando las fuerzas que produjeron la deformación disminuyen gradualmente, y el cuerpo que la sufrió vuelve total o parcialmente a su forma primitiva, se dice que es un cuerpo elástico. Es decir, la elasticidad es la propiedad que posee un cuerpo en recuperar su forma inicial al retirar la carga que causa su deformación (Timoshenko, 1957).

ii. Ley de Hooke

Cuando un elemento, como, por ejemplo, un elemento estructural recto con sección transversal constante, denominado barra prismática, se intenta estirar mediante una carga dirigida a lo largo del eje longitudinal (carga axial), y el alargamiento producido es proporcional a la fuerza que se le aplicó, se dice que el material de la barra prismática cumple con la ley de Hooke. Por lo que, específicamente la ley de Hooke se puede definir así: la longitud de la deformación producida por una fuerza al intentar estirar un elemento es proporcional a la fuerza aplicada.

Matemáticamente, la ley de Hooke se puede expresar mediante la ecuación 1:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (1)$$

De donde:

P: se refiere a la fuerza que provoca la deformación.

L: a la longitud del elemento que sufrió la deformación.

A: el área de la sección transversal del elemento que sufrió la deformación. El área transversal es perpendicular a la dirección de la fuerza que provoca la deformación.

δ : es la longitud de la deformación del elemento sometido a la fuerza

E: módulo de elasticidad del material del que está hecho el elemento sometido a la fuerza deformadora.

Además, de la proporcionalidad directa entre la fuerza y la deformación, la ecuación nos deja ver que la deformación es inversamente proporcional al módulo de elasticidad y al área transversal del elemento.

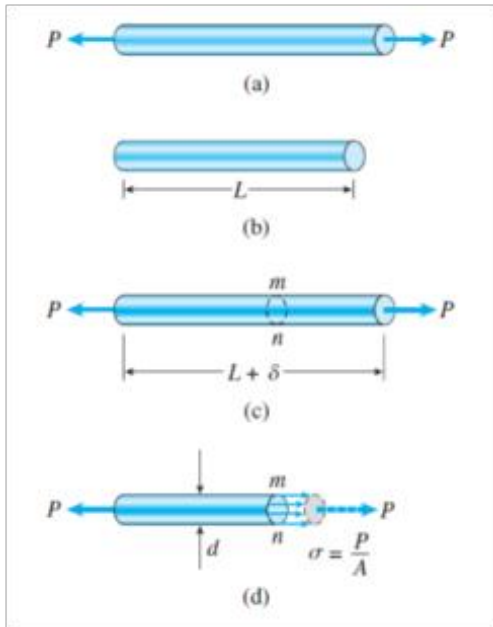
iii. Esfuerzo

Si sobre una barra prismática de sección transversal constante y peso despreciable, suponemos que sólo actúan fuerzas externas axiales P ; la longitud de la barra se incrementará en una magnitud δ .

Si se hace un corte transversal imaginario en la sección mn , como se aprecia en la Figura 2 de la página siguiente, las fuerzas internas de la barra quedan expuestas. Para notarlas, aislaremos la parte izquierda de la barra prismática, tomando como referencia la sección mn y haremos un diagrama de fuerzas que intervienen, conocido como diagrama de cuerpo libre. En el extremo derecho del diagrama de cuerpo libre, representado en la Figura 2; es decir, del lado derecho de la sección transversal mn , se indica, como se había anunciado previamente, la acción de la parte eliminada con el corte mn (parte derecha.) sobre la restante. Se muestra específicamente las fuerzas distribuidas uniformemente sobre la sección transversal y la fuerza axial P resultante de la suma de dichas fuerzas (Gere y Goodno, 2009).

Figura 2.

Diagrama de cuerpo libre sobre una barra prismática donde sólo actúan fuerzas externas axiales P



Tomado de: (Gere y Goodno, 2009)

La suma de estas fuerzas, para cumplir las condiciones de equilibrio, deben ser igual a la fuerza P aplicada en el extremo izquierdo. Entonces, La fuerza por unidad de sección recta, denominada esfuerzo o fatiga (Timoshenko, 1957), equivaldrá a lo expresado en la ecuación (2):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

De donde:

σ = esfuerzo o fatiga

P = fuerza axial externa

A = área de la sección transversal.

Cuando las fuerzas P tienden a estirar la barra prismática se hablaría de esfuerzos de tensión, mientras que si dichas fuerzas convergen; es decir, intentan aplastarla longitudinalmente, se llamarían esfuerzos de compresión (Gere y Goodno, 2009).

iv. Deformación unitaria

Tomando en cuenta la demostración de esfuerzo, se podría decir que, la relación entre el alargamiento sufrido por la barra prismática luego de aplicadas las fuerzas axiales externas P, respecto de la longitud original de la barra prismática, se denomina deformación unitaria (Timoshenko, 1957).

Si la deformación de la barra es debida a fuerzas de tensión se llamará deformación unitaria por tensión y deformación unitaria por compresión en caso contrario (Gere y Goodno, 2009).

v. Diagrama esfuerzo-deformación de un ensayo a la tensión

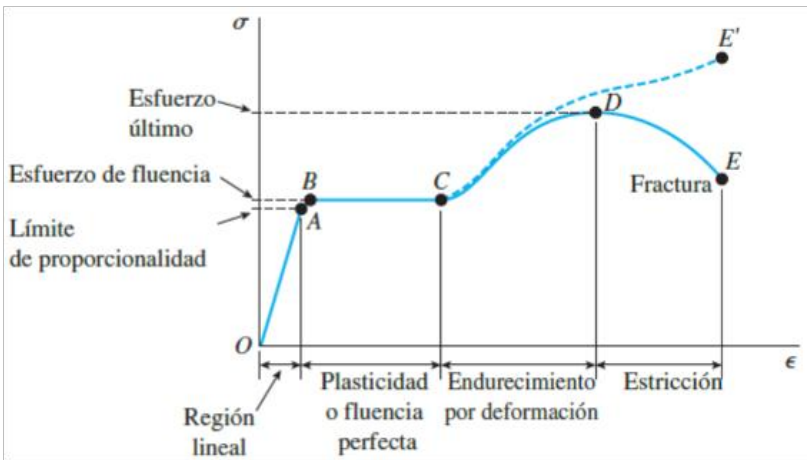
El diagrama Esfuerzo – Deformación, también conocido como diagrama de esfuerzo - deformación nominal o de ingeniería, proporciona datos de las características y comportamientos de un material con fines aplicativos, por ejemplo, qué tanto un material es susceptible a ser estirado o que fuerza fue necesaria para romperlo; dicho de otro modo, que tan grande es su ductilidad o cuál es su carga de ruptura. Recordando que, el concepto de "nominal", obedece a que se manejan la longitud y el área inicial u original del material que se pretende probar.

Un diagrama de esfuerzo – deformación nominal se construye graficando las deformaciones en las abscisas (x) y el esfuerzo en las ordenadas (y). para comprender la información que proporciona, tomaremos una curva típica de un material conocido como el acero.

En la Figura 3 se identifica el tramo OA. En este tramo es donde el material cumple con la ley de Hooke. De esta sección se extrae el punto conocido como límite de proporcionalidad; que como su nombre lo indica, más allá de este, no existe proporcionalidad entre la deformación y el esfuerzo aplicado sobre la barra de acero. igualmente, se obtiene, a través de la pendiente de la misma, el módulo de elasticidad del material. Esta zona se conoce como la zona elástica del gráfico.

Figura 3

Diagrama de esfuerzo – deformación nominal del acero



Tomada de (Gere y Goodno, 2009)

Luego en la misma Figura 3 se aprecia el tramo AB, caracterizado principalmente por la disminución de la pendiente sin ningún tipo de proporcionalidad. Es en el punto B donde la gráfica empieza a convertirse horizontal, lo que quiere decir que, a partir de este punto, hay un aumento considerable de la deformación sin aumentar el esfuerzo, fenómeno conocido como fluencia. En esta zona (tramo BC), conocida también como la meseta de fluencia, el material se comporta de forma plástica, ya no elástica. el esfuerzo asociado con el punto B, se denomina esfuerzo de fluencia y es otra característica que se extrae de la gráfica de esfuerzo – deformación que se muestra en la Figura 3.

Para el acero, luego de la zona de fluencia aparece un fenómeno denominado endurecimiento por deformación; aquí, el material recobra su resistencia necesiándose aumentar el esfuerzo para seguir deformándolo. El tramo CD presenta entonces una pendiente positiva y acaba en el punto conocido como esfuerzo último, que es el punto donde se presenta el esfuerzo máximo. Luego

de dicho punto se presenta una deformación adicional acompañada de una disminución de la carga para inevitablemente acabar rompiéndose en el punto E. El punto D, a pesar de no ser donde realmente ocurrió la ruptura es tomado por algunos como este, denominándolo también esfuerzo de ruptura.

vi. Residuo sólido o desecho

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

CAPÍTULO II

Tendencias de los almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

A continuación, se presentan investigaciones recientes que permiten sustentar el libro y están relacionadas con los bioplásticos elaborados con base de almidón.

Biopolímeros para uso agroindustrial: alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termoplástico biodegradable (Cornejo et al., 2020)

Ante el bajo reciclaje de la industria de plásticos en el Salvador y las consecuencias que sobre el clima global trae la elaboración de plásticos con combustibles fósiles, el trabajo de investigación buscó alternativas sostenibles, como la elaboración de plásticos para uso agroindustrial, usando los almidones de papa y yuca como materia prima. Toda vez que este sector de la industria es un gran consumidor del plástico petroquímico, sobre todo en los procesos de empaqueo de productos. En términos prácticos, la investigación se enfocó en obtener un prototipo laminar de plástico biodegradable a partir de la materia prima mencionada previamente.

En su marco teórico, la investigación ayuda a dar claridad sobre los conceptos de bioplásticos y almidones termoplásticos, que, por la relativa novedad de los mismos, suelen haber confusiones respecto del alcance de sus definiciones. Igualmente, justifica claramente el porqué del uso de la glicerina como plastificante en los procesos de elaboración de los bioplásticos.

Experimentalmente, los autores lo definen como una investigación exploratoria, en la cual usaron almidones de papa y yuca adquiridos comercialmente, extraídos de cultivos de la región, por lo que los consideraron almidones nativos. Además, para la elaboración de los bioplásticos se usaron,

en distintas proporciones de cada uno de los ingredientes: agua destilada, ácido acético y glicerina. Los dos últimos de "grado químico". La mezcla de los ingredientes se hizo a temperatura controlada, hasta alcanzar el punto de gelatinización, es decir, a unos 60 °C. Las láminas de bioplásticos de las distintas proporciones se hicieron en bandejas de acero inoxidable y su secado fue a temperatura ambiente, entre 26 y 32 °C. Las muestras obtenidas se sometieron a biodegradación mediante compostaje durante un lapso de 3 a 6 meses.

Los resultados de la investigación arrojaron que la glicerina afecta las características mecánicas del material, además de su transparencia. La temperatura, en cambio, tanto la de gelatinización como la de secado, influyen en forma y texturas de las láminas. En cuanto a la biodegradación de las láminas se logró demostrar que ellos biodegradan de manera similar a la celulosa en compostaje; y, por lo tanto, de acuerdo a la normatividad europea pueden considerarse como bioplásticos. Por último, el trabajo indica que aún la producción de los bioplásticos ensayados es más costosa que los plásticos fabricados a partir de los combustibles fósiles. Pero en lo que se refiere a aportes específicos del antecedente a mi investigación, pasó por la importancia de la glicerina y temperatura del proceso en las características finales del bioplástico; así como, el costo de su fabricación.

Otención de un bioplástico a partir de almidón de papa (Holguín, 2019)

Las consecuencias que en los diferentes elementos del ambiente trae el consumo de bolsas plásticas fabricadas con combustibles fósiles en Colombia, fue el factor que llevó al científico a plantear una solución sostenible desde el punto de vista ambiental. En este orden de ideas hay que decir que, la papa debido a sus propiedades, y en especial, a su relación amilosa/amilopectina, la han convertido en el centro de las investigaciones como principal fuente de almidón para la elaboración de bioplásticos. A causa de su considerable velocidad de degradación, se considera que los bioplásticos elaborados a partir del almidón de papa, son una de las mejores alternativas para hacer frente a los problemas de contaminación asociado con el uso de los plásticos convencionales.

El autor de esta investigación, ante estas circunstancias, se planteó el desarrollo de un plástico biodegradable elaborado a partir del almidón extraído de la papa. Para lo cual tuvo que encontrar el método de elaboración y las proporciones de materia prima que dieran los mejores resultados.

Ahora bien, hablando de manera puntual, el aporte de la tesis a mi búsqueda se concentró en la diferencia entre los conceptos de fécula y almidón; así como, en información relativa a sus propiedades. También aportó la clasificación de los métodos de elaboración del bioplástico, y un precio de referencia para la comercialización de un bioplástico de almidón.

La tesis concluye que la velocidad y temperatura de secado influye sobre las características mecánicas del bioplástico. Además, confirma de manera experimental que, el método seleccionado a partir de una matriz de factores ponderados, supera en resistencia mecánica al método tradicional por más de 5 veces.

Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (Ruiloba et al., 2018)

La motivación del trabajo fue encontrar materiales amigables con el ambiente que sustituyan al plástico tradicional y así disminuir su dependencia. En busca de ese propósito, científicos de la Universidad Tecnológica De Panamá, elaboraron un bioplástico a partir del almidón presente en las semillas de mango. Al igual que en la región caribe colombiana, el árbol de mango es muy abundante en todo el territorio panameño, de ahí que se optara por el almidón proveniente de esta fruta.

La investigación aporta datos importantes para la justificación de mi indagación, uno de ellos se refiere a la demanda creciente de materiales biodegradables en la industria de botellas PET (tereftalato de polietileno). Otro, consiste en el valor porcentual del contenido de almidón que posee la semilla mango, aclarando que dicho contenido, presenta muy poca diferencia en las variedades de África y Asia.

Para la obtención del almidón de las semillas de mango se usó la fruta verde. Se extrajo manualmente el interior de la semilla, se secó usando un deshidratador de alimentos, siendo molidas posteriormente. La harina obtenida fue diluida y filtrada, luego el material filtrado fue centrifugado y deshidratado a 38 °C. Una vez aislado el almidón, se tamizó para mejorar su textura.

El trabajo experimental consistió en caracterizar el contenido de almidón de las semillas de mango y elaborar bioplásticos a partir de él. Para ello además usaron: agua, ácido acético y glicerina. Inicialmente se hizo un bioplástico para observar, en un lapso de 2 meses, si existía crecimiento microbiano en él; y luego, se hicieron bioplásticos usando diferentes concentraciones del almidón de mango para evaluar cualitativamente si existía potencial en esta materia prima.

Las conclusiones del trabajo fueron: primero, la cantidad de amilosa del almidón de las semillas de mango es similar al de la papa y la yuca. Segundo, sin plastificante, es decir sin glicerina, las propiedades mecánicas no son las deseadas en un bioplástico que pretenda sustituir al plástico tradicional. Tercero, los bioplásticos con glicerina mejoran su comportamiento mecánico apreciable, permitiendo deducir la potencialidad del material como sustituto del plástico elaborado a partir del petróleo; y, por último, debido al crecimiento bacteriano, se deduce la biodegradación de los bioplásticos producidos.

Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo – 2018 (Chinchayhuara y Quispe, 2018)

Las investigadoras justifican su trabajo de manera semejante a otros estudios científicos; es decir, buscan una alternativa empática con la naturaleza que reduzca la dependencia de la sociedad a los combustibles fósiles, específicamente, en lo relativo al consumo que de ellos se hace por la fabricación de plásticos convencionales. Por otra parte, la disponibilidad de las fuentes de donde se extraería el almidón, fue decisiva a la hora de llevar a cabo su tesis. Los almidones que se emplearon se extrajeron de los restos de las frutas del mercado la Hermelinda en Trujillo Perú. Por lo que, el objetivo concreto propuesto por las científicas, fue elaborar bioplásticos a base de cáscara de plátano y de mango para reducir el uso de plásticos sintéticos en el distrito de Trujillo – 2018.

La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con un estudio experimental, porque se llevó a cabo la manipulación de las variables de estudio. El trabajo se desarrolló bajo lineamientos de laboratorio, generando resultados precisos y factibles acerca de los bioplásticos. Luego de ejecutado lo propuesto concluyeron que: la elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos, reduce la contaminación de plásticos sintéticos en un 80 % porque son biodegradables.

Este trabajo de investigación expone la importancia de la búsqueda de nuevas alternativas frente al problema de la contaminación por plásticos, generando productos con materia prima a base de residuos orgánicos amigables con el ambiente, y con la misma funcionalidad del plástico tradicional. En otras palabras, demuestra que los bioplásticos obtenidos presentan mejores adaptaciones, las cuales fueron validadas. Finalmente, la tesis evaluó la viabilidad de los bio-plásticos a base de almidón, brindando información acerca de cuál de estos es el más confiable y útil para la industria y el ambiente. En cuanto al aporte para mi indagación, el estudio reveló la densidad de un bio-plástico elaborado a partir de almidón de mango; así como, los datos de las velocidades de su degradación en el suelo.

Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca (Ruiz, 2006)

La investigadora se plantea la obtención de un biopolímero a partir del almidón de yuca, influida por la presión que los polímeros sintéticos han generado en el ambiente, ya sea desde la demanda de combustibles fósiles para su fabricación, o debido a su dificultad para deshacerse de ellos en razón de sus características. Sin embargo, la científica también expone como justificación para su investigación, la necesidad que la industria ha manifestado por encontrar empaques para alimentos que sean biodegradables y de bajo costo.

En cuanto a la obtención del biopolímero, se utilizó almidón de yuca modificado, comercializado bajo la marca Expandex, mezclado con glicerina al 96 % de pureza en volumen y agua potable suministrada por el acueducto de Medellín. Se probaron varias proporciones de los ingredientes y se determinaron sus características.

Como resultado pertinente para nuestra investigación se destaca que a mayor contenido de glicerina y menor de almidón se requiere más temperatura para la obtención del biopolímero. Además, que la proporción utilizada para la preparación de biopolímero con mejores características mecánicas fue la de 70 % de almidón, 18 % de glicerina y 12 % de agua, pues presenta mejor equilibrio entre resistencia y deformación.

Objetivos

General

Evaluar los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango para validarlos como alternativa en la sustitución de los plásticos convencionales.

Específicos

- ✓ Determinar las proporciones óptimas para la elaboración de los bioplásticos de ñame y mango con el fin de obtener características semejantes a los plásticos sintéticos.
- ✓ Determinar las características físicas de los bioplásticos: masa, volumen, densidad y resistencia a la tracción, para compararlos con los plásticos tradicionales.
- ✓ Determinar la velocidad de biodegradación de los bioplásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango, para comprobar su persistencia en el ambiente luego de ser usados.
- ✓ Calcular el costo de elaboración de los bioplásticos de ñame y mango con base en sus dosis óptimas, para conocer su competitividad a partir de un precio.
- ✓ Evaluar el impacto ambiental de la producción de los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango, en aras de reconocer la magnitud de su interacción con el entorno.

CAPÍTULO III

Materiales y métodos

Metodológicamente la investigación se organizó en cuatro etapas.

Etapa 1: determinación de las proporciones óptimas de los materiales necesarios para la elaboración de bioplásticos hechos de almidones de ñame y mango

La primera etapa consistió en determinar las proporciones óptimas de los distintos ingredientes que intervienen en la elaboración de los bioplásticos de almidón. Para ello, se adquirieron las frutas y tubérculos de interés, sin distinción de especies en particular, debido al contenido similar de amilosa de cada uno de ellos y entre las diferentes especies de la misma fruta o tubérculo (Alvis et al.,2008; Ruiloba et al., 2018). Sin embargo, se tomó la precaución de no escoger frutas o tubérculos maduros, para obtener la mayor cantidad de almidón de cada uno de ellos.

En cuanto a la extracción del almidón, se hizo de utilizando elementos de uso doméstico, de una forma casi artesanal. El proceso se inició pelando y picando los tubérculos; luego, se llevaron a una licuadora y con agua en una proporción de 3 partes de agua por una de tubérculo, se desintegraron. El producto de esta acción se hizo pasar a través de un pañal de tela. El líquido percolado se dejó decantar durante más de 2 horas, de inmediato se le extrajo cuidadosamente el exceso de agua para, finalmente, deshidratarse a temperatura ambiente durante más de 36 horas.

Es importante mencionar que la investigación se llevó a cabo en la ciudad de Valledupar, ubicada en las coordenadas 10°27'37.0"N 73°15'35.0"W, la cual posó un clima cálido durante todo el año, con temperaturas que oscilan entre los 23 y 36 °C y humedades relativas entre el 56 y un 74 % (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] , 2021).

Para el mango se empleó el mismo procedimiento descrito anteriormente, la única diferencia consistió en que el almidón se extrajo del interior de las semillas del mango, para lo cual tuvo que retirársele la cubierta de las mismas.

En relación con la obtención de los bioplásticos se empleó agua destilada y los almidones extraídos; al mismo tiempo, glicerina comercial, la cual es glicerol; y vinagre blanco, que es ácido acético al 3 %. El proceso de elaboración partió de la dilución de cualquiera de los almidones en agua destilada, la adición del ácido acético, y, por último, glicerina; lo anterior, en las proporciones que se pretendían evaluar. Cumplido esto, los ingredientes se mezclaban continuamente y se sometían simultáneamente al calor en una estufa eléctrica doméstica a temperatura baja. La agitación y calentamiento terminaban cuando se evaporaba la mayor cantidad de agua posible, luego de lo cual se extendía la mezcla sobre una superficie plana, como por ejemplo vidrio, para obtener las láminas de los diferentes bioplásticos que se evaluaron. El método descrito se conoce como el método tradicional de acuerdo a lo establecido por Holguín (2019).

Es importante resaltar que las proporciones de los ingredientes se variaron hasta que, mediante ensayo y error, se obtenían los biopolímeros de mejor característica; es decir, aquellos que, mediante una prueba manual, daban la sensación de poseer una mejor relación de resistencia a la fractura y deformación. La búsqueda inició con 15 gr de almidón por cada 30 de agua, y volúmenes de 5 ml para glicerina y vinagre en el caso de almidón de mango; mientras que, para el ñame, la proporción fue de 15 gr de almidón por 20 de agua y volúmenes de glicerina y vinagre de 0,2 ml y 15 ml respectivamente.

Obtenidas las proporciones que produjeron mejores sensaciones, lo siguiente fue determinar algunas relaciones entre los ingredientes; Por ejemplo, se calculó la cantidad de agua respecto de la de almidón empleado e igualmente, el volumen de glicerina por gramo de almidón. Esto con el fin de poder compararlos con otras investigaciones.

Una vez obtenidas las láminas se determinó su densidad y resistencia a la tracción. Para la densidad se tomaron las dimensiones de las láminas mediante un vernier con precisión al milímetro y la masa en una balanza analítica. Para la resistencia a la tracción se adaptó un sistema el cual consistió en adicionar, en sentido longitudinal, objetos a las láminas hasta lograr su ruptura. Cada vez que se adicionaba un cuerpo se medía la deformación causada empleando el vernier. Luego, multiplicando la masa por la aceleración debida a la gravedad, se calculó la fuerza que representaba cada elemento agregado. Una vez obtenida la fuerza y las dimensiones idóneas, se calculó el esfuerzo. Para facilitar la interpretación se construyó, con base en los resultados obtenidos, un gráfico de esfuerzo y deformación de cada bioplástico ensayado.

Al final, a manera de demostración del comportamiento de los materiales, se aplicó un análisis de varianza a las elongaciones sufridas por los bioplásticos luego de someterlos a esfuerzos axiales. Para ello, se usó la herramienta de análisis de datos de la hoja de cálculo de Microsoft Excel. La hipótesis que se pretendía aceptar era que, para cada esfuerzo a los que fueran sometidas la muestras, sufrirían al menos una elongación diferente.

Etapa 2: determinación de la velocidad de biodegradación de los distintos plásticos elaborados con base en almidones de ñame y mango

Para desarrollar esta fase de la investigación se simuló dos escenarios, una degradación de bioplásticos en agua y otra en suelo. Para la primera se construyó un reactor aeróbico de flujo continuo, alimentado con agua de una corriente superficial natural, como lo es el río Guatapurí. El reactor fue construido empleando un recipiente cilíndrico de 20 L al cual se le adaptó una bomba de aire, tipo pecera, de flujo de L/min. En el reactor aeróbico se depositaron las láminas de bioplásticos y se registró la cantidad de masa que perdían con el tiempo. La medición de la masa se hizo con una balanza analítica. Los resultados de masa y tiempo se graficaron para facilidad de interpretación. Las pendientes de cada tramo de las gráficas corresponden a la relación entre la masa perdida de bioplástico y el tiempo que le tomó en perderse, a lo que se le denominó, velocidad promedio de biodegradación.

En lo referente al segundo escenario, se "sembraron" láminas de los bioplásticos en un suelo de características orgánicas, y se tomaron los mismos datos que para el primer escenario; es decir, masa y tiempo, graficándose de igual forma. El procedimiento seguido imita al llevado a cabo por Chinchayhuara y Quispe (2018). Es importante mencionar que, ante la rápida degradación que presentó el material, no fue posible determinar de manera fiable otras características a las muestras.

Por último, como parámetro adicional de persistencia en el ambiente y emulando el concepto de tiempo de vida media, se estableció el lapso que le tomaba a los materiales perder el 50% de su masa en cada uno de los medios ensayados.

Etapa 3: determinación del costo de elaboración de los bioplásticos de ñame y mango a partir de las proporciones óptimas de sus materiales

Mediante un análisis de precios unitarios se estableció el costo de producción de un kilogramo de cada uno de los bioplásticos ensayados. Para ello, se definieron los procesos y materiales imprescindibles a partir de la experiencia adquirida. El valor se determinó con base en los precios comerciales al momento de realizar el estudio, entendiendo que los mismos dependen de la temporada. Sin embargo, los resultados se compararon entre sí y con el de plásticos como el polietileno y el poliestireno expandido.

Etapas 4: evaluación del impacto ambiental de la producción de los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango

Una vez se definieron los procesos requeridos para la elaboración de los bioplásticos, se estableció cual es la relación de ellos con el ambiente, a esto se conoce como identificación de aspectos ambientales; seguidamente, basado en la conocida matriz de Leopold, se señalaron los elementos del entorno que llegarían a ser impactados por su elaboración. A continuación, las interacciones señaladas en la matriz, se tradujeron en impactos ambientales que posteriormente serían juzgados. Por último, para la valoración se ideó un método ad hoc, entendiéndose estos como aquellos que, basados en existentes, se adaptan o modifican para satisfacer las necesidades específicas de un proyecto o actividad (Canter, 1998).

Por su parte, en cuanto al procedimiento de evaluación, éste se basó en el método de Conesa modificado (Arboleda, 2008), del cual se tomaron cuatro características: naturaleza, intensidad, extensión y persistencia; a ellas se les adicionaron dos más: posibilidad de mejora del impacto y tiempo en que la medida de manejo del impacto es efectiva. Para el autor, un impacto que tiene solución debe ser considerado como compatible, y eso verse reflejado en la calificación del mismo. Es conveniente aclarar que, luego de aplicación de la ecuación para la calificación de los impactos, los resultados se normalizaron; es decir, se llevaron a una escala de uno a 100 puntos, esto en aras de facilitar su enjuiciamiento. Por último, al término de la fase se conoció que tan compatible es la fabricación de los bioplásticos con el medio que nos rodea.

CAPÍTULO IV

Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones

Resultados

Resultados etapa 1: determinación de las proporciones óptimas de los materiales necesarios para la elaboración de bioplásticos hechos de almidones de ñame y mango para la elaboración de los bioplásticos

Para la determinación de las proporciones óptimas en la elaboración de bioplástico a partir del almidón de mango, fueron necesarios 3 intentos.

Al tratarse de ensayos cualitativos, el fin era poder obtener un bioplástico cuya textura fuera similar a la de las bolsas de polietileno que se aprecian cotidianamente. En la tabla 3 se consignan las cantidades de ingredientes usadas durante la prueba.

Tabla 3

Pruebas de determinación de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de mango

Materia prima	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Almidón de mango (gr)	15	15	15
Glicerina (ml)	5,0	3,0	0,50
Ácido acético 3 % V/V(ml)	5,0	0,0	5,0
Agua destilada (ml)	30	30	30

Teniendo en cuenta que las densidades de la glicerina y del ácido acético al 3 % V/V son: 1,26 g/ml y 1,01 g/ml, respectivamente, la proporción óptima lograda relativa a la masa fue: almidón de mango, 29,6 %; glicerina, 1,24 %; ácido acético, 9,96 %; y agua, 59, 2 %. Correspondiente a la prueba 3.

De igual forma, en aras de obtener las proporciones óptimas para la elaboración de bioplástico a partir del almidón de ñame se necesitaron 9 intentos como se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4

Pruebas de determinación de las proporciones óptimas en la elaboración del bioplástico a partir del almidón de ñame

Materia prima	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
Almidón de ñame (gr)	15	15	15	20	20	30	40	40	30
Glicerina (ml)	0,20	3,0	0,10	0,30	0,30	0,30	0,35	0,4	0,25
Ácido acético 3 % V/V (ml)	15	10	10	15	15	30	30	30	15
Agua destilada (ml)	20	30	30	20	30	35	30	30	30

En esta ocasión, la proporción en masa que mejor imitó al polietileno de las bolsas plásticas fue la de la prueba nueve, la cual corresponde a los siguientes porcentajes en masa: almidón de ñame, 39,8 %; glicerina, 0,42 %; ácido acético, 20,1 %; y agua, 39,8 %.

De lo anterior se extrae las siguientes relaciones: la relación entre la cantidad de almidón de mango y agua fue 1:2, mientras que esa misma para el almidón de ñame fue de 1:1. En cuanto a la cantidad de glicerina usada por gramo de almidón se obtuvo que, para el caso del almidón de mango fue de 0,033 ml/g, y sólo 0,008 ml/g para el almidón de ñame.

Por otro lado, para la determinación de la densidad de los bioplásticos elaborados a partir de las dosis óptimas, se extrajeron láminas rectangulares. Las dimensiones de las láminas fueron en promedio de 5,0 por 10,3 cm, con un espesor de 0,10 cm para el bioplástico de almidón de mango, y 0,50 cm para el de ñame. Dichos volúmenes arrojaron, respectivamente, densidades de 0,35 g/cm³ y 1,16 g/cm³. Estos datos, permiten comparar esta propiedad con la de otros plásticos, ya sea derivados de combustibles fósiles o de almidones.

Seguidamente, se evidenciaron las deformaciones unitarias nominales sufridas por las muestras de bioplástico ante las fuerzas axiales aplicadas. Cabe recordar que una deformación unitaria nominal, no es más que la relación entre la elongación sufrida por la muestra ante un esfuerzo axial y la longitud original de la misma.

En las Tabla 5 y Tabla 6 se muestran los datos con los que se definieron las deformaciones unitarias y esfuerzos axiales para ambos especímenes.

Tabla 5*Deformaciones del bioplástico de almidón de mango debido a carga axial*

Longitud lámina (cm)	Masa (g)	Fuerza (N)	Deformación (cm)	Deformación unitaria nominal
10,3	0	0,00	0	0,00
10,3	15	0,15	0	0,00
10,36	22	0,22	0,06	0,01
10,63	41	0,40	0,33	0,03
11,4	105	1,03	1,1	0,11
11,93	163	1,60	1,63	0,16

Tabla 6*Deformaciones del bioplástico de almidón de ñame debido a carga axial*

Longitud lámina (cm)	Masa (g)	Fuerza (N)	Deformación (cm)	Deformación unitaria nominal
10,3	0	0,00	0	0,00
10,3	35	0,34	0	0,00
10,5	130	1,27	0,2	0,02
10,8	140	1,37	0,5	0,05
11,4	180	1,77	1,1	0,11
11,6	204	2,00	1,3	0,13

Así mismo, para el cálculo de los valores de los esfuerzos axiales, se asumió que las secciones transversales de cada ejemplar, tenían forma rectangular. Las dimensiones de la muestra del bioplástico de almidón de mango fueron de 5,0 cm de longitud y 0,1 cm de altura; mientras que, para el bioplástico de almidón de ñame, fue de 5,0 cm de longitud y 0,5 cm de altura. Como se sabe, el cálculo del esfuerzo axial resulta de la división de la fuerza aplicada entre la sección transversal a la misma. En la Figura 4 y Figura 5, se muestra el comportamiento de las deformaciones de los bioplásticos ensayados.

Figura 4

Esfuerzo nominal contra deformación unitaria nominal del bioplástico del almidón de mango

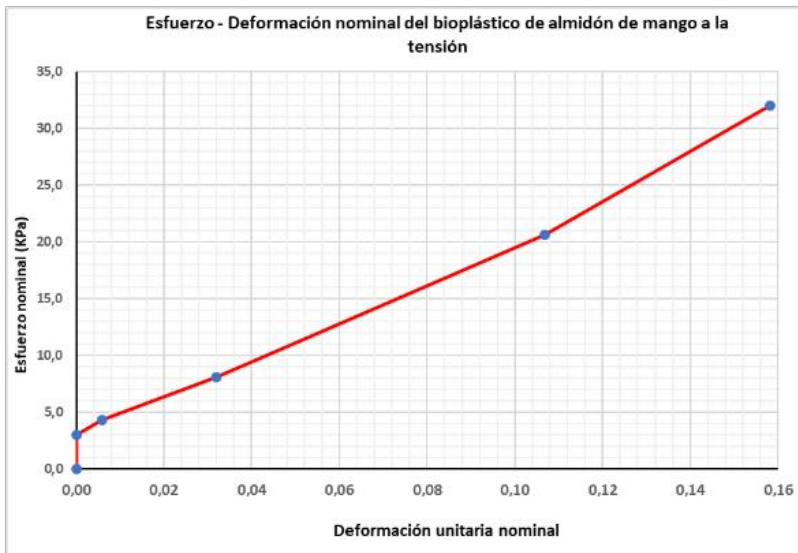
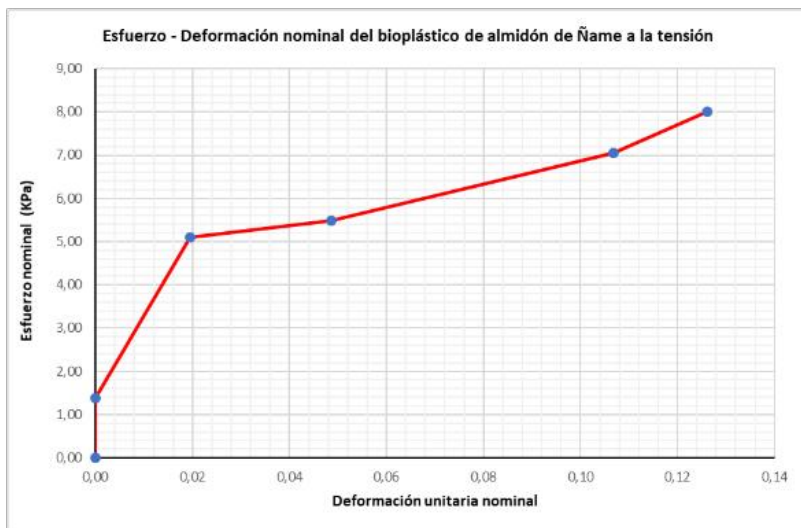


Figura 5

Esfuerzo nominal contra deformación unitaria nominal del bioplástico del almidón de ñame



Adicionalmente, se exhiben los resultados de los análisis de varianza hechos para ambos materiales. El instrumento estadístico evaluó las deformaciones unitarias logradas luego de someterse a distintos esfuerzos. Ambas pruebas se ejecutaron con un nivel de significancia, α , de 0,05. A partir de los datos se demostró, tanto para el bioplástico de mango como para el de ñame, que no todos los esfuerzos producen la misma deformación.

Tabla 7

Valores de las elongaciones a los diferentes esfuerzos a los que se sometió el bioplástico de mango

	Tratamiento 1 Esfuerzo 0 KPa	Tratamiento 2 Esfuerzo 2,94 KPa	Tratamiento 3 Esfuerzo 4,32 KPa	Tratamiento 4 Esfuerzo 8,04 KPa	Tratamiento 5 Esfuerzo 20,6 KPa	Tratamiento 6 Esfuerzo 32,0 KPa
R1	0	0	0,2	0,33333333	0,66666667	0,7
R2	0	0	0	-0,06666667	1,16666667	0,4
R3	0	0	0	0,53333333	0,46666667	0,5

Nota: R1, R2 y R3 se refieren al número de la repetición.

Tabla 8

Resumen de los parámetros a partir de los cuales se realizó el análisis de varianza para el bioplástico de mango

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Tratamiento 1	3	0	0	0
Tratamiento 2	3	0	0	0
Tratamiento 3	3	0,2	0,06666667	0,01333333
Tratamiento 4	3	0,8	0,26666667	0,09333333
Tratamiento 5	3	2,3	0,76666667	0,13
Tratamiento 6	3	1,6	0,53333333	0,02333333

Tabla 9

Análisis de varianza de las deformaciones unitarias a los distintos esfuerzos sometidos al bioplástico de mango

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,50944444	5	0,30188889	6,97	0,002862233	3,11
Dentro de los grupos	0,52	12	0,04333333			
Total	2,02944444	17				

Tabla 10

Valores de las elongaciones a los diferentes esfuerzos a los que se sometió el bioplástico de ñame

	Tratamiento 1 Esfuerzo 0 KPa	Tratamiento 2 Esfuerzo 1,37 KPa	Tratamiento 3 Esfuerzo 5,10 KPa	Tratamiento 4 Esfuerzo 5,49 KPa	Tratamiento 5 Esfuerzo 7,06 KPa	Tratamiento 6 Esfuerzo 8,00 KPa
R1	0	0	0,2	0,6	0,53333333	0,2
R2	0	0	0,2	-0,1	0,53333333	0,2
R3	0	0	0,2	0,6	0,53333333	0,2

Tabla 11

Resumen de los parámetros a partir de los cuales se realizó el análisis de varianza para el bioplástico de ñame

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Tratamiento 1	3	0	0	0
Tratamiento 2	3	0	0	0
Tratamiento 3	3	0,6	0,2	0
Tratamiento 4	3	1,1	0,36666667	0,16333333
Tratamiento 5	3	3,3	1,1	0
Tratamiento 6	3	3,9	1,3	0

Tabla 12

Análisis de varianza de las deformaciones unitarias a los distintos esfuerzos sometidos al bioplástico de ñame

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,65166667	5	0,13033333	4,79	0,012269757	3,11
Dentro de los grupos	0,32666667	12	0,02722222			
Total	0,97833333	17				

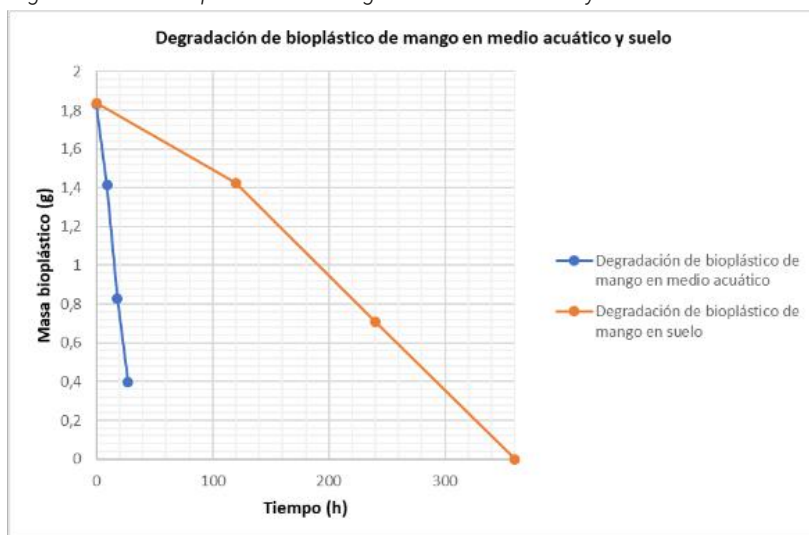
Como se aprecia en las tablas previas, los valores calculados para F son superiores a los valores críticos para F, esto significa que se aceptan las hipótesis alternativas, las cuales consisten en que al menos uno de los esfuerzos aplicados produce una elongación distinta en los biopolímeros. En definitiva y como cierre de la etapa, habría que decir que estos ensayos además de evidenciar la resistencia del material, dieron a conocer su comportamiento a distintos esfuerzos, lo que permitió identificar propiedades mecánicas que dieron pistas sobre lo que podría llegar a ser su uso potencial.

Resultados etapa 2: determinación de la velocidad de biodegradación de los distintos plásticos elaborados con base en almidones de ñame y mango

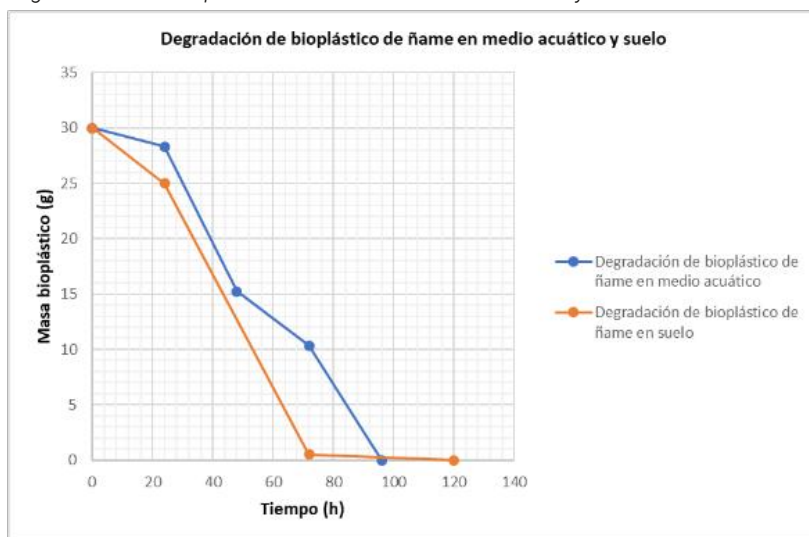
Para esta etapa, muestras de bioplásticos de almidón de mango y ñame fueron sometidas a degradación en medio acuático y suelo. Los resultados que se registran a continuación, corresponden al bioplástico de mango.

Figura 6

Degradación del bioplástico de mango en medio acuático y suelo



Las velocidades de degradación se obtuvieron mediante la diferencia de las masas medidas a distintos instantes divididas entre ese mismo lapso de tiempo. Dicho de otra forma, las velocidades corresponden a la pendiente de cada tramo. La máxima velocidad de degradación del mango se observó en el medio acuático, alcanzando hasta 65 mg en una hora, contrastante con los 6 mg en el suelo. Así mismo, y emulando el concepto de vida media de cinética de reacciones, se obtuvo por interpolación que la pérdida del 50 % de la masa del bioplástico de mango se alcanzó a las 16,6 h para el medio acuático y a las 204,5 h para el suelo. Por su parte, la degradación del bioplástico de almidón de ñame en los diferentes medios fue la siguiente:

Figura 7*Degradación del bioplástico de ñame en medio acuático y suelo*

De los datos previos se destaca que, al igual que el bioplástico de mango, la máxima velocidad de degradación se percibe en el medio acuático, con un valor de 0,545 g/h. Sin embargo, el valor de dicha velocidad en el suelo no fue muy distante, alcanzando los 0,51 g/h. La diferencia consistió en que ésta última fue lograda a las 72 horas, mientras que en el agua fue en las primeras 24. Igualmente, el tiempo en que se pierde el 50 % de la masa del bioplástico se calculó como se describió en algunas líneas arriba, siendo 49,1 horas para el medio acuático y 43,6 para el suelo.

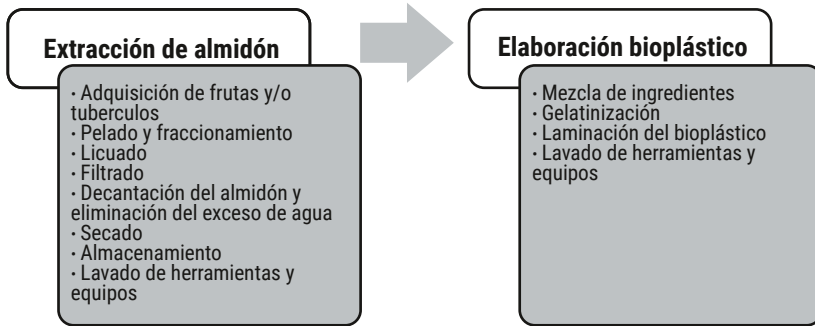
Cabe resaltar la importancia de los resultados obtenidos, pues a partir de ellos, se podrá extrapolar la permanencia del material en los diferentes medios y establecer su compatibilidad con el ambiente.

Resultados etapa 3: determinación del costo de elaboración de los bioplásticos de ñame y mango a partir de las proporciones óptimas de sus materiales

Durante la primera etapa de la investigación se confirmó que, en términos generales, los pasos seguidos para la elaboración de los diferentes bioplástico de almidón, no requirieron modificación sustancial respecto a los descritos, entre otros por Ruiloba et al. (2018) y Cornejo et al. (2020); los cuales, de acuerdo con Holguín (2019), son considerados como tradicionales. En vista de lo anterior y para los propósitos de esta fase, se definieron las siguientes actividades como las necesarias para la obtención de los bioplásticos de interés:

Figura 8

Procesos para la elaboración de los bioplásticos de yuca, ñame, papá, y mango



En relación con los costos de elaboración de los bioplásticos, la tabla que se expone a continuación, da detalles acerca de los mismos:

Tabla 13

Costos de elaboración de 1 Kg de bioplástico de almidón de mango o ñame

Actividad	Ítem	Mango	Ñame
Extracción de almidón	Equipos y herramientas	\$ 4.827	\$ 2.500
	Materiales	\$ 2.000.002	\$ 80.002
	Mano de obra	\$ 343.523	\$ 110.814
Costo extracción almidón		\$ 2.348.352	\$ 193.316
Elaboración bioplástico	Equipos y herramientas	\$ 2.201	\$ 2.201
	Materiales	\$ 2.349.944	\$ 194.541
	Mano de obra	\$ 110.814	\$ 110.814
Costo elaboración del bioplástico		\$ 2.462.959	\$ 307.556

Resultados etapa 4: Evaluación del impacto ambiental de la producción de los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango

Definido el listado de actividades para la elaboración de los bioplásticos de almidón, se establecieron las relaciones de las mismas con el ambiente; a esto se conoce como identificación de aspectos ambientales de acuerdo con la norma ISO 14000 (como se citó en Arboleda, 2008). En lo sucesivo se detalla cada aspecto reconocido.

Tabla 14

Identificación de los aspectos ambientales de la producción de bioplásticos de almidón

Fase	Actividad	Descripción	Aspectos ambientales
Extracción de almidón	Adquisición de frutas y/ o tubérculos	Compra en centros de abastecimiento o supermercados	Consumo de materias primas Aspectos socioeconómicos
	Pelado y fraccionamiento	Retiro de la piel de las frutas o tubérculos y el corte de los mesocarpios o médulas mediante herramientas como cuchillos. Esta actividad incluye el retiro de la corteza de la semilla (endocarpio) de mango	Residuos aprovechables Aspectos socioeconómicos
	Licuada	Batido de mesocarpios o médulas en licuadora con adición de un poco de agua	Ruido Consumo de agua y energía eléctrica
	Filtro - prensado	Paso a través de un paño de la mezcla obtenida en el paso anterior, aplicando presión para deshidratar el bagazo	Residuos sólidos aprovechables
	Decantación del almidón y eliminación exceso de agua	Separación del almidón por sedimentación del percolado y retiro del líquido clarificado	Aguas residuales
	Secado	Evaporación del contenido de agua del almidón mediante exposición a la radiación solar	Vectores
	Almacenamiento	Traspaso del almidón deshidratado desde los recipientes de decantación a recipientes para su reserva	Emisión de material particulado
	Lavado de herramientas y equipos	Limpieza con agua y detergentes de los implementos utilizados en la obtención del almidón	Consumo de agua residuos sólidos aprovechables Aguas residuales

Elaboración del bioplástico	Mezcla de ingredientes	La adición e integración de cada uno de los insumos en un recipiente.	Consumo de materias primas Residuos peligrosos o especiales
	Gelatinización	Calentamiento en estufa con constante agitación de la mezcla preparada en el paso anterior.	Consumo de energía eléctrica Emisión de calor Emisión de vapores
	Laminación del bioplástico	Extensión en una superficie plana de la mezcla gelatinizada para su secado a temperatura ambiente	Residuos sólidos aprovechables
	Lavado de herramientas y equipos	Limpieza con agua y detergentes de los implementos utilizados en la preparación del bioplástico	Consumo de agua Residuos sólidos aprovechables Aguas residuales

Así mismo, como paso previo a la determinación de los impactos ambientales, se determinaron los elementos de la naturaleza que resultarían afectados por la elaboración de los bioplásticos de almidón; para ello se utilizó una matriz que relaciona los factores del entorno y las actividades de interés. Los factores empleados fueron los propuestos por Leopold et al. (como se citó en Canter, 1998); de ese ejercicio surgió la siguiente tabla que lo resume.

Tabla 15

Factores ambientales afectados por la elaboración de bioplásticos de almidón

Fase	Actividad	Componentes ambientales afectados	Factor ambiental afectado
Extracción de almidón	Adquisición de frutas y/o tubérculos	Flora	Cosechas
		Nivel cultural	Empleo
	Pelado y fraccionamiento	Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Empleo
	Licuado	Nivel cultural	Rellenos sanitarios
		Servicios e infraestructura	Salud y seguridad
		Otros	Redes de servicios
	Filtro - prensado	Nivel cultural	Ruido
		Servicios e infraestructura	Salud y seguridad
	Decantación del almidón y eliminación exceso de agua	Servicios e infraestructura	Rellenos sanitarios
		Agua	Calidad
	Secado	Relaciones ecológicas	Redes de servicios
		Insectos vectores de enfermedades	

Extracción de almidón	Almacenamiento	Atmósfera	Calidad (gases y partículas)
		Relaciones ecológicas	Insectos vectores de enfermedades
	Lavado de herramientas y equipos	Agua	Calidad
		Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Redes de servicios
Rellenos sanitarios			
Relaciones ecológicas	Eutrofización		
Elaboración del bioplástico	Mezcla de ingredientes	Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Rellenos sanitarios
	Gelatinización	Atmósfera	Calidad (gases y partículas)
		Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Redes de servicios
	Laminación del bioplástico	Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Rellenos sanitarios
	Lavado de herramientas y equipos	Agua	Calidad
		Nivel cultural	Salud y seguridad
		Servicios e infraestructura	Redes de servicios
Rellenos sanitarios			
Relaciones ecológicas		Eutrofización	

De igual manera, continuando la secuencia lógica del proceso de valoración de los impactos ambientales, se definieron las consecuencias que las 32 interacciones actividad – entorno provocaron en el medio. Conviene subrayar que, a pesar que dichas interacciones generan por lo menos el mismo número de impactos, existen algunos comunes para las distintas actividades. La lista de los impactos asociados a las acciones que los ocasionan es la que inmediatamente se detalla.

Tabla 16

Listado de impactos ambientales asociado a las actividades de producción de bioplásticos de almidón

N°	Impactos ambientales	Actividad que lo genera
1	Aumento de la producción agrícola	Adquisición de frutas y/o tubérculos
2	Generación de empleo	Adquisición de frutas y/o tubérculos
		Pelado y fraccionamiento
3	Incremento de morbilidad y mortalidad por accidentes laborales	Pelado y fraccionamiento
		Licudo
		Filtrado
		Lavado de herramientas y equipos
		Mezcla de ingredientes
		Gelatinización
		Laminación del bioplástico
4	Disminución de la vida útil del relleno sanitario	Pelado y fraccionamiento
		Filtrado
		Lavado de herramientas y equipos
		Mezcla de ingredientes
		Laminación del bioplástico
5	Deterioro en la prestación de los servicios públicos por aumento de consumo	Licudo
		Decantación del almidón y eliminación exceso de agua
		Lavado de herramientas y equipos
		Gelatinización
6	Contaminación por ruido	Licudo
7	Contaminación del agua por sólidos, material biodegradable y sustancias químicas	Decantación del almidón y eliminación exceso de agua
		Lavado de herramientas y equipos
8	Incremento de insectos vectores y roedores	Secado
		Almacenamiento
9	Contaminación del aire por partículas, gases y olores	Almacenamiento
		Gelatinización
10	Deterioro de la calidad del agua por eutrofización	Lavado de herramientas y equipos

Ahora bien, para la valoración de los impactos identificados se propuso un método directo, el cual toma como referencia algunas de las características de los impactos descritas en el marco teórico, y se rige bajo la ecuación:

$$I_{AMB} = N * [(In+Ex+Pe) \pm (M * T_M)] \quad (3)$$

De donde:

I_{AMB}: Importancia del Impacto Ambiental

N: Naturaleza del impacto

In: Intensidad

Ex: Extensión

Pe: Persistencia sin intervención humana

M: Posibilidad de mejoría del impacto positivo o del impacto negativo

T_M: Tiempo que necesita ser aplicada la medida de potenciación del impacto positivo o de mitigación del impacto negativo para que sea efectiva

Cabe señalar que la ecuación de importancia ambiental considera que un impacto mejorará su valor, siempre y cuando exista una medida comprobada que mitigue o potencie el efecto ambiental del mismo. De ahí que adicione valores a los impactos positivos y sustraiga a los negativos. Además, la naturaleza del impacto sólo señala el sentido del impacto.

Los valores de cada variable tienen inicialmente los establecidos en el método de Conesa explicado por Arboleda (2008); el cual parte de conceptos cualitativos para llegar a datos cuantificables como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9

Equivalencia cuantitativa de las características de los impactos ambientales para la determinación de su importancia

<p>NATURALEZA DEL IMPACTO (N)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beneficio o positivo: 1 • Perjudicial o negativo: -1 	<p>INTENSIDAD (In)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja: 1 • Media: 2 • Alta: 4 • Muy alta: 8 • Total: 12 	<p>EXTENSIÓN (Ex)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puntual: 1 • Parcial: 2 • Extensa: 4 • Total: 8 • Puntual crítica: 5 • Parcial crítica: 7 • Extensa crítica: 8 • Total crítica: 12
<p>PERSISTENCIA SIN INTERVENCIÓN HUMANA (Pe)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fugaz: 1 • Temporal: 2 • Permanente: 4 	<p>POSIBILIDAD DE MEJORÍA IMPACTO (M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potenciable o mitigable: 1 • No potenciable o no mitigable: 0 	<p>TIEMPO PERMANENCIA APLICACIÓN MEDIDA DE POTENCIALIZACIÓN (T_M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fugaz, irregular o aperiódico o discontinuo: 3 • Periódico: 2 • Continuo: 1

Por otra parte, los resultados de la aplicación de la expresión de importancia ambiental, se normalizaron; es decir, se llevaron a valores entre uno y 100 puntos. Esto, en aras de facilitar su juicio de valor. A renglón seguido se muestra la ecuación empleada para dicho fin:

$$IN_{AMB} = \pm (100 - 1) * \left[\frac{(|I_{AMB}| - \text{Mínimo})}{(\text{Máximo} - \text{Mínimo})} \right] + 1 \quad (4)$$

De donde:

IN_{AMB}: Importancia del Impacto Ambiental Normalizada

I_{AMB}: Valor Absoluto de la Importancia del Impacto Ambiental antes de la Normalización

Mínimo: valor mínimo, en valor absoluto, que arrojaría la expresión de importancia del impacto ambiental

Máximo: valor máximo, en valor absoluto, que arrojaría la expresión de importancia del impacto ambiental

Es prudente mencionar que, el valor máximo, tanto para los impactos positivos como negativos, fue de 31 puntos. En cambio, el valor mínimo se diferenció. Esto es, tres puntos para los impactos benéficos y cero para los perjudiciales.

En cuanto a la escala usada para la emisión de los juicios de valor de cada uno de los impactos ambientales identificados, por tratarse de una propuesta por parte de la investigación, partimos de una división equitativa de los puntos normalizados en cuatro categorías como se aprecia en la figura contigua.

Figura 10

Escala para el juicio de valor de los impactos ambientales



De la aplicación de todo lo anterior se obtuvo como resultado la tabla expuesta a continuación:

Tabla 17

Valoración y normalización de los impactos causados por la elaboración del bioplástico de almidón

N°	Impacto ambiental	N	In	Ex	Pe	M	TM	I _{AMB}	IN _{AMB}
1	Aumento de la producción agrícola	1	2	4	2	1	2	10	26
2	Generación de empleo	1	2	2	2	1	2	8	19
3	Incremento de morbilidad y mortalidad por accidentes laborales	-1	1	1	1	1	1	-2	7
4	Disminución de la vida útil del relleno sanitario	-1	1	5	2	1	1	-7	23
5	Deterioro en la prestación de los servicios públicos por aumento de consumo	-1	1	1	2	1	1	-3	11
6	Contaminación por ruido	-1	2	1	1	1	1	-3	11
7	Contaminación del agua por sólidos, material biodegradable y sustancias químicas	-1	2	2	4	1	1	-7	23
8	Incremento de insectos vectores y roedores	-1	2	1	4	1	1	-6	20
9	Contaminación del aire por partículas, gases y olores	-1	1	2	2	1	1	-4	14
10	Deterioro de la calidad del agua por eutrofización	-1	2	2	4	1	1	-7	23

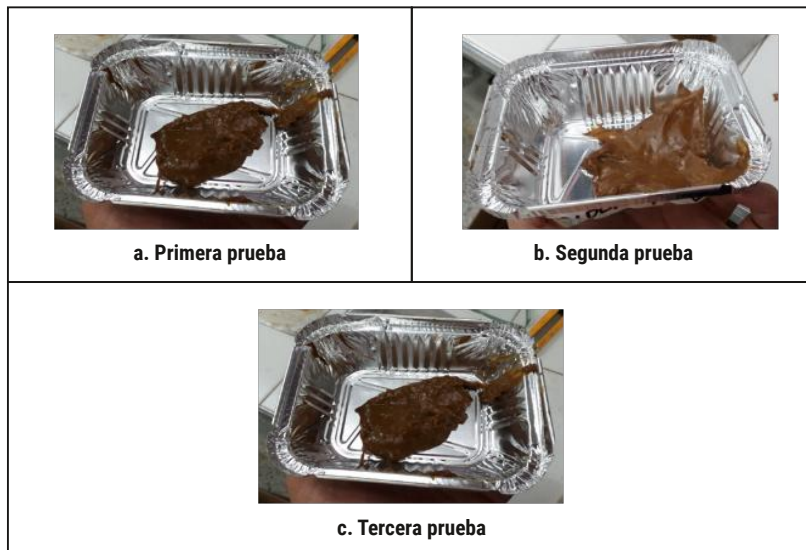
Discusión

Discusión resultados etapa 1: determinación de las proporciones óptimas de los materiales necesarios para la elaboración de bioplásticos hechos de almidones de ñame y mango para la elaboración de los bioplásticos

Debido a la consistencia de las mezclas logradas en las pruebas realizadas para la obtención del bioplástico a partir del almidón de mango (Figura 11), se infirió que la cantidad de plastificante; es decir, la glicerina, era demasiada. Por lo cual, se redujo hasta lograr una textura y apariencia similar al polietileno de baja densidad usado en las bolsas plásticas. Cabe recordar que el almidón por sí mismo, no tiene las propiedades mecánicas para trabajar como termoplástico, por lo que se hace necesario ciertos aditivos como lo es la glicerina (García, 2015). Un termoplástico es aquel plástico que se puede moldear al ser sometidos al calor caracterizándose por su alta resistencia y baja densidad (Cornejo et al., 2020).

Figura 11

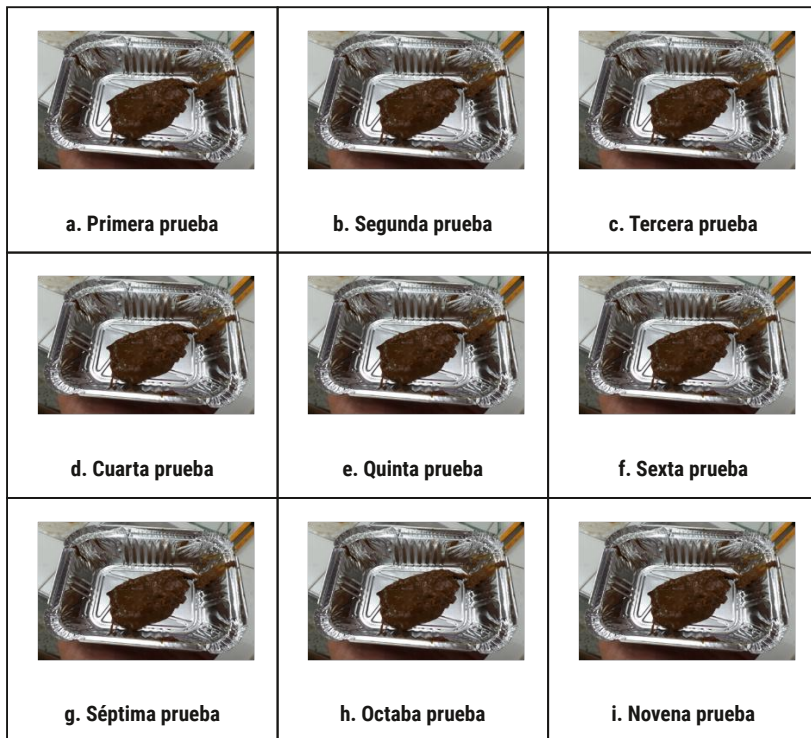
Pruebas para la obtención de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de mango



Por otra parte, a diferencia del proceso hecho con el mango, la obtención de la proporción óptima para la elaboración de bioplástico a partir del almidón de ñame fue dispendiosa (Figura 12). La consistencia inicial de la mezcla lograda nos condujo a la modificación de sus ingredientes durante los nueve ensayos.

Figura 12

Pruebas para la obtención de las proporciones óptimas para la elaboración del bioplástico a partir del almidón de ñame



Para entender las razones por lo que ocurrió lo anterior, se debe tener en cuenta que, para alcanzar la gelatinización de la mezcla preparada, además del tipo de almidón, inciden variables como: la temperatura del proceso, la velocidad de cizalladura (velocidad con que agitamos la mezcla) y las cantidades de agua y plastificante (Ruiz, 2006; Bejarano, 2014). Pero la gelatinización no es el único fenómeno que dicta la textura de la mezcla, también la retrogradación. La retrogradación son las interacciones en los puentes de hidrógeno de las cadenas de almidones (reorganización y reorientación) que ocurren mientras se enfría la mezcla (Meneses et al., 2007; García, 2015). Por esto, y teniendo en cuenta que las condiciones en que se elaboraron los bioplásticos fueron similares, la investigación consideró que la diferencia en el contenido de amilosa de ambas fuentes de almidón, pudo ser una de las razones de la dificultad para el logro de las proporciones óptimas. Otra razón, quizás, fue la capacidad de absorción de agua de los diferentes tipos de

almidón (Canónico, 2003). La diferencia del contenido de amilosa puede apreciarse en la Tabla 1 de este documento.

En cuanto a la relación entre la cantidad de almidón de mango y el agua utilizada, se debe decir que ésta fue distinta a la manejada en otras investigaciones. Por ejemplo, para la investigación realizada dicha relación fue de 1:2, mientras que para Ruiloba et al. (2018) fue de 1:3. Por el contrario, la relación entre la cantidad de glicerina y almidón de mango de nuestra mezcla óptima fue más baja que la investigación citada. Para ellos, la relación es de 1 ml de glicerina por cada gramo de almidón y para este ensayo fue 0,033 ml/g. Así mismo, tomando sólo como referencia el porcentaje de agua en la mezcla, ésta debería estar debajo del 20 % si se pretende obtener almidones termoplásticos de acuerdo con Ruiz (2006); sin embargo, los valores obtenidos se triplicaron.

De igual forma, para lograr una textura similar a la del bioplástico de almidón de mango, el de ñame requirió más de 20 % de agua y menos relación de glicerina por gramo de almidón que el de mango. La necesidad de agua fue cercana al 40 %. Al parecer, el agua, que también es considerado como un plastificante (Ruiz, 2006; Meneses et al., 2007; Holguín, 2019), suplió las necesidades de la glicerina en la mezcla óptima preparada. Esto confirma la distinta capacidad de absorción de líquidos de los almidones analizados y muy seguramente el tamaño de sus partículas.

Cabe destacar que la proporción de ácido acético y la cantidad de almidón no es un dato menor. Para los bioplásticos ensayados se requirieron relaciones de 1:3 para el de mango y de 1:2 para el de ñame. Esto habla de la dificultad para romper los enlaces de amilosa y amilopectina en ambas mezclas y confirma la diferencia existente de dicha relación entre ambos almidones (Holguín, 2019; Cornejo et al., 2020).

Por su parte, la densidad del bioplástico de almidón de mango obtenida por la investigación, fue superior en un poco más del 27 % que la encontrada por Chinchayhuara y Quispe (2018). La explicación de la diferencia se sustenta en la fuente del almidón, pues este último proviene de la cáscara de la fruta y no de la semilla. Así mismo, la densidad del bioplástico de almidón de mango es alrededor de tres veces menor que la del polietileno de baja densidad (PEBD), cuyo valor oscila entre 0,91 y 0,925 g/cm³ (Roca, 2005).

A diferencia del bioplástico del almidón de mango, el de ñame es mucho más denso. Su valor se asemeja más al del poliestireno (PS), el cual registra valores de 1,05 g/cm³ (Franco - Urquiza y Maspocho, 2017). También, su densidad es parecida al bioplástico elaborado con almidón de papa mediante el "proceso tradicional" de la investigación de Holguín (2019). Éste presentó un valor alrededor de 1 g/cm³.

Con respecto a las pruebas mecánicas realizadas, se encontró que ninguno de los bioplásticos probados pudo deformarse más de un 16 % antes de su fractura. A la luz de las deformaciones sufridas por ambos materiales, se deduce que el bioplástico de almidón de mango es más rígido que el de ñame, toda vez que fue necesario mayor esfuerzo para romperlo.

Además, y de acuerdo con las gráficas (Figura 4 y Figura 5), las zonas elásticas de ambos materiales fueron casi imperceptibles. Los límites de proporcionalidad detectados fueron de 2,94 y 1,37 KPa para el bioplástico de almidón de mango y ñame, respectivamente. Esto significa que ambos son poco elásticos, pues perdieron dicha propiedad a valores relativamente bajos. Por otro lado, el bioplástico elaborado con base en el almidón de ñame se comporta de forma más plástica que el de mango, específicamente entre los esfuerzos de 5,10 y 5,49 KPa. La pronunciada reducción de la pendiente del gráfico hace notoria la plasticidad del material.

Ahora bien, ambos materiales evidencian un endurecimiento antes de la fractura; es decir, un incremento positivo de la pendiente hacia el final de la gráfica, rematando en lo que se conoce como el esfuerzo último o máximo. En este caso, el esfuerzo máximo y el esfuerzo de ruptura coincidieron, siendo el esfuerzo de ruptura del bioplástico de almidón de mango 4 veces mayor que el de ñame.

Sin embargo, si se compara con las resistencias máximas a la tracción obtenidas por otras investigaciones, se nota que las de los bioplásticos de mango y ñame son menores. Por ejemplo, el prototipo número cuatro del bioplástico de almidón de maíz ensayado por García (2015), alcanzó una resistencia de casi diez veces mayor a nuestro bioplástico más resistente que fue el de mango. Igualmente ocurrió con el bioplástico de almidón nativo de papa de las pruebas de Holguín (2019), el cual resultó veinte veces más resistente. De igual forma pasó con otros bioplásticos de almidón; es así que, una de las mezclas de bioplástico de almidón de yuca probadas por Ruiz (2006), fue casi 600 veces más resistente que nuestro bioplástico de mango, siendo corroborada esta tendencia con los estudios de Meneses et al. (2007), los cuales mostraron que su muestra más débil fue casi siete veces más fuerte que nuestro bioplástico del almidón de mango.

Para terminar, los análisis de varianza corroboraron el comportamiento elástico y plástico de los materiales ensayados. De sus resultados se interpreta que al menos uno de los esfuerzos a los que se sometieron las muestras, produjo una elongación distinta a las demás. Esto se refleja en el cambio de comportamiento de la curva de esfuerzo - deformación, específicamente entre la primera y segunda zona.

Discusión resultados etapa 2: determinación de la velocidad de biodegradación de los distintos plásticos elaborados con base en almidones de ñame y mango

Las velocidades de degradación de los bioplásticos ensayados fueron altas, esto al menos cuando se comparan con los resultados obtenidos por Chinchayhuara y Quispe (2018). Para estos investigadores, la velocidad máxima de degradación en suelo, para un bioplástico elaborado con almidón de mango, fue cercana a los 5 mg/h; en cambio, en nuestra investigación, fue de 6 mg/h.

Ahora bien, al compararse entre ellos, es decir, entre el bioplástico de mango y ñame, la velocidad de degradación del de ñame fue superior tanto en agua como en suelo. Además, al confrontarse los medios entre sí, se concluye que los bioplásticos en agua se desintegran más rápidamente que en suelo. Este resultado podría preverse si se tiene en cuenta el alto contenido de agua y de materiales solubles en su composición, el cual supera el 60 % para el bioplástico de almidón de ñame y 70 % para el de mango. Sin embargo, la cantidad de material soluble no incidió en la velocidad de degradación, como si parece el tipo de almidón.

A su vez, basados en la densidad de los materiales probados, se puede afirmar que aquel más denso; es decir, el bioplástico de ñame, fue el más veloz en degradarse, pero curiosamente, el menos resistente a la tracción.

Discusión resultados etapa 3: determinación del costo de elaboración de los bioplásticos de ñame y mango a partir de las proporciones óptimas de sus materiales

Tomando en cuenta el valor promedio del dólar en el último año, el cual, según Banco de la república Colombia [BANREP] (2021) fue de 3684 pesos, el precio del kilogramo de bioplástico elaborado a partir de almidón de mango sería de 669 USD, mientras que el de ñame 83 USD.

Ahora bien, al comparar nuestros bioplásticos con los plásticos provenientes de combustibles fósiles, como, por ejemplo, el polietileno, nuestro bioplástico más económico resulta ser casi 67 veces más costoso. El polietileno en forma de pellets, con el que se fabrican las bolsas plásticas de los supermercados, se comercializa en las plataformas de ventas en línea por valores que rondan los 1,25 USD/Kg. Algo semejante ocurre con el Poliestireno expandido, conocido en Colombia como ICOPOR, el cual es de uso popular en el embalaje de alimentos, su precio a pesar de ser superior al del polietileno, sigue siendo un poco más de seis veces menor que nuestro bioplástico más barato. Aunque esta comparación parezca inofensiva, se convierte en el punto de partida del recorrido que deben hacer los bioplásticos dentro del mercado de materiales.

Una de las razones de lo oneroso de los bioplásticos se encuentra en el rendimiento del proceso de extracción del almidón. Según Ruiloba et al.(2018), este rendimiento para las semillas de mango es inferior al 5 %. Ahora bien, si tomamos en cuenta que la semilla constituye entre un 9 % y un 40 % del peso total del mango (Wu, Chen , y Fang, T., 1993), Realmente este valor se encontraría entre un 0,4 % y un 1,9 % en función del peso total de la fruta. En nuestra experiencia, el rédito de extracción de almidón de mango fue cercano a un 0,2%, en contraste con el 12,5 % que se logró con el tubérculo.

Ante el panorama previo, en especial para el bioplástico de almidón de mango, se deduce que es necesario buscar una fuente de materia prima mucho más económica, como, por ejemplo, la proveniente de desechos de alguna planta de producción de pulpa o jugos de la fruta; esto, con el fin de contribuir a mejorar la competitividad de su bioplástico, sabiendo que la misma no depende exclusivamente de los costos, sino que también de la calidad o beneficio brindado por el producto.

Por otro lado, habría que decir que, al igual que esta investigación, pero sin más detalles que los costos de materias primas, Cornejo et al. (2020) concluyen que la elaboración de bioplásticos de almidón de yuca y papa es más cara que la de los plásticos provenientes de combustibles fósiles. Así mismo, aunque Holguín (2019) demuestra la viabilidad financiera de un proyecto para la producción de bioplástico de almidón de papa, ésta depende de la venta del producto a un precio superior a 30 USD/kg (valor estimado con el precio promedio del dólar en el año 2019), el cual es evidentemente más elevado que cualquiera de los plásticos fabricados con combustibles fósiles expuesto en párrafos anteriores.

De igual manera, si sólo se compara el precio de los almidones con el de la investigación de Holguín (2019), el cual utiliza para su viabilidad financiera un precio de almidón de papa de 1,37 USD/kg (valor estimado con el precio promedio del dólar en el año 2019), los almidones de mango y ñame, obtenidos por el método tradicional, incluso considerando la inflación de los años de diferencia, seguirían siendo por lo menos 40 veces más costosos. En este sentido, habría que incluir al método tradicional como otro factor que atenta contra la viabilidad de la producción de los almidones en cuestión.

Discusión resultados etapa 4: evaluación del impacto ambiental de la producción de los plásticos elaborados con base en los almidones de ñame y mango

Como cualquier actividad, la elaboración de bioplásticos de almidón provoca efectos sobre el entorno, tanto en el medio natural como en el medio social; siendo este último el que sufre la mayor cantidad de interacciones, pero no todas perjudiciales como veremos más adelante. El medio social, discriminado en la matriz de Leopold bajo el nombre de factores culturales, se refiere a

elementos del ambiente exclusivos del "ecosistema humano". Ahora bien, de las 32 interacciones halladas entre la actividad y el ambiente, 21 corresponde a dicho medio, destacándose los elementos denominados: salud y seguridad y vertederos de residuos (rellenos sanitarios); éstos, con ocho y seis interacciones respectivamente, siendo de hecho, los parámetros de la naturaleza más perjudicados por la elaboración de los bioplásticos de almidón. Entonces, habría que decir que el mayor número de afectaciones por la elaboración del bioplástico de almidón la padece directamente el ser humano o la infraestructura que el creó para su hábitat.

Así mismo, el proceso de evaluación de los impactos ambientales identificó al lavado de herramientas y equipos como la actividad que más se relaciona con el ambiente, alcanzando un total de cinco factores e igual número de impactos directos generados. A la par señaló que el impacto más comúnmente generado por las acciones de elaboración de los bioplásticos fue el denominado: incremento de morbilidad y mortalidad por accidentes laborales. Este impacto es generado por ocho de las 12 labores que permiten la fabricación del material.

Considerando la naturaleza de los impactos ambientales, la elaboración de bioplásticos de almidón produce dos impactos positivos de los diez identificados en total. Éstos son: el aumento de la producción agrícola y la generación de empleo. El primero es tomado como positivo, pues se interpreta más que una ampliación de la frontera agrícola, como una mejora en la productividad inicial de los cultivos existentes; o incluso, como una recuperación de las hectáreas dejadas de cultivar. De hecho, este impacto es el de mayor significancia. Lo que representa que, el impacto más grande de todos los impactos identificados, es benéfico, siendo catalogado en su juicio de valor como un impacto positivo favorable.

Al otro extremo, esto es, en relación con los ocho impactos negativos restantes, existen tres que comparten 23 puntos en relación con el valor de su importancia ambiental normalizada. Nos referimos a:

- ✓ Disminución de la vida útil del relleno sanitario
- ✓ Contaminación del agua por sólidos, material biodegradable y sustancias químicas
- ✓ Deterioro de la calidad del agua por eutrofización

Todos enjuiciados como tolerables por el entorno. Lo que quiere decir que, los impactos más perjudiciales provocados por la elaboración de bioplásticos de almidón, ninguno supone una amenaza seria al ambiente.

Así mismo, se puede notar en la valoración de la Tabla 17, que todos los impactos ambientales son susceptibles de mejorar; en otras palabras, que cada uno de los cambios que provocan las actividades de fabricación de los bioplásticos en el medio, tiene una medida de manejo viable en la actualidad. En la próxima tabla se sugieren algunas medidas que podrían ser implementadas en caso de elaborarse los biopolímeros.

Tabla 18.

Medidas de manejo para los impactos provocados por la fabricación de bioplásticos

Impactos	Mejora	Prevención	Mitigación
Aumento de la producción agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de asistencia técnica a los productores. • Mejoramiento genético de las especies 		
Generación de empleo	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de jornada de operación. • Incentivo por contratación de población vulnerable. 		
Incremento de morbilidad y mortalidad por accidentes laborales		<ul style="list-style-type: none"> • Programas e seguridad y salud en el trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de elementos de protección personal
Disminución de la vida útil del relleno sanitario		<ul style="list-style-type: none"> • Separación en la fuente 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostaje de residuos
Deterioro en la prestación de los servicios públicos por aumento de consumo		<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de aparatos eléctricos. • Uso de aparatos eléctricos e instalaciones hidrosanitarias de bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrección de fugas hidrosanitarias y fallas eléctricas
Contaminación del agua por sólidos, material biodegradable y sustancias químicas			<ul style="list-style-type: none"> • Construcción, puesta en marcha y operación de planta de tratamiento de aguas residuales

<p>Incremento de insectos vectores y roedores</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Corrección de orificios en las instalaciones, instalación de anjeos en ventanas y puertas. • Limpieza periódica de las instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Fumigaciones
<p>Contaminación del aire por partículas, gases y olores</p>			<ul style="list-style-type: none"> • Extractores de aire, chimeneas y filtros. • Uso de elementos de protección personal
<p>Deterioro de la calidad del agua por eutrofización</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Uso de detergentes amigables con el ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción, puesta en marcha y operación de planta de tratamiento de aguas residuales

En definitiva, ninguna de las actividades necesarias para la fabricación de los bioplásticos de almidón, deteriorará de manera grave, notoria o definitiva el medio donde se desarrolle.

Conclusiones

El método para conocer las proporciones óptimas de los insumos usados para la elaboración de los bioplásticos de almidón, permitió conocer de forma indirecta las características del ingrediente principal. Esto, dadas las diferencias en las proporciones de agua y glicerina empleadas entre las muestras analizadas. Los requerimientos de agua en los bioplásticos estudiados fueron superiores al 20% sugerido por otras investigaciones. Dichas necesidades se duplicaron en la elaboración del bioplástico de almidón de ñame y se triplicaron para el mango. Sin embargo, en relación con la proporción de glicerina, el bioplástico de almidón de mango requirió 0,033 ml/g de almidón, lo que es un poco más de cuatro veces lo que requirió el de ñame.

Por otra parte, dadas las diferentes proporciones usadas para la fabricación de los bioplásticos en estudio; así como, las características propias de los almidones empleados, dieron como resultados materiales de diferente densidad, siendo más liviano el bioplástico de almidón de mango con un valor de 0,35 g/cm³, que el de ñame con 1,16 g/cm³. Llamó la atención la ligereza del primero, pues es tres veces menor que el polietileno de baja densidad, el cual es empleado en la fabricación de bolsas plásticas.

En relación con el comportamiento mecánico de los materiales en estudio, se puede decir que ambos son poco elásticos dados sus bajos límites de proporcionalidad exhibidos, siendo de escasos 2,94 KPa y 1,37 KPa para los bioplásticos de mango y ñame respectivamente. Además, el bioplástico del almidón de ñame demuestra más plasticidad que el de mango, pero menor rigidez. La afirmación anterior se sustenta en el menor esfuerzo para romperlo, evidenciándose en las figuras 4 y 5. Ahora bien, entendiendo que la recomendación de un material depende del uso que éste vaya a tener, la investigación cree que un material poco denso, pero más rígido, tendría ventajas a la hora de seleccionarse sobre los demás. Esto último ocurriría con el bioplástico de almidón de mango.

En lo que se refiere a la degradación de los bioplásticos de almidón, se encontró que el de ñame se degrada más rápidamente que el de mango, tanto en el agua como en el suelo. La superioridad de degradación del material va de más de 85 veces en el suelo a ocho veces en el agua. Si bien, la velocidad registrada en el suelo para el de mango, fue de 6mg/h, una investigación similar sólo logró cinco. Los resultados de las velocidades de degradación se

atribuyeron a la gran proporción de agua, materia orgánica e ingredientes solubles utilizados.

En cuanto al costo de elaboración de los bioplásticos de almidón, vale la pena señalar que, tomando en cuenta sólo la metodología de los costos directos, ninguno de los materiales ensayados sería competitivo en la actualidad. Precios cercanos a 669 USD/kg para el bioplástico de almidón de mango y 83 USD/kg para el de ñame, lo convierten en materiales "exóticos". Lo anterior, teniendo en cuenta que el polietileno en forma de pellets, materia prima usada para la fabricación de las bolsas plásticas, por ejemplo, se consigue en el mercado a 1,25 USD/kg. Este panorama revela que, para mejorar la competitividad en los términos en los que se están analizando, es necesario optimizar los rendimientos de producción del material. Es decir, difícilmente, la producción de bioplásticos a escala o con técnicas artesanales será competitiva. Otra alternativa para la mejoría en el precio por kilogramo de los bioplásticos, consistiría en acceder al almidón a partir de materiales de desecho.

Acerca de los impactos ambientales que provoca la fabricación de bioplásticos de almidón, la investigación demostró que todas las afectaciones negativas generadas por ella, son tolerables. Es decir, ninguna representa amenaza seria contra el ambiente. De hecho, la fabricación de bioplásticos de almidón, es una actividad que llega a producir impactos positivos, siendo ejemplo de ellos la generación de empleo.

Finalmente, tomando en cuenta la valoración de impacto ambiental favorable y las características prometedoras de los bioplásticos de almidón, la investigación se atreve a afirmar que estos materiales serán alternativa viable en el corto plazo.

Recomendaciones

- ✓ Se hace necesario el uso de técnicas y materiales normalizadas para mejorar la precisión de los resultados y hacer más universal y comparable los mismos.
- ✓ Ampliar las pruebas a los materiales en busca de conocer otras características que permitan mejorar la viabilidad de los mismos.
- ✓ Realizar combinaciones de los almidones experimentados o probar almidones de otras fuentes vegetales.
- ✓ Realizar pruebas de aplicación de uso práctico sobre los bioplásticos de almidón ensayados, como por ejemplo la fabricación de bolsas de empaque o entrega de alimentos y constatar la integridad de los productos que contengan.
- ✓ Por último. Poner a prueba el método de valoración de los impactos propuestos para ajustar las ponderaciones de los factores inicialmente utilizados.

Referencias

- Acevedo, A., Sandoval, I., y Salcedo, J. (02 de Agosto de 2014). Desarrollo y productividad de ñame (*Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta*) en diferentes condiciones hídricas. Obtenido de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/43917/49450
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., y Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19-28.
- Aranza, Y. R. (junio de 2012). El cultivo de ñame en el caribe colombiano. Obtenido de https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_168.pdf
- Arboleda, J. A. (2008). Manual ára la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín .
- Aristizábal, J., y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- Ballesteros, L. (2014). <http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/handle/10819/2247>. Obtenido de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl%c3%a1sticos_Laura%20Ballestero_USBCTG_2014.pdf.
- Banco de la república Colombia [BANREP]. (06 de Septiembre de 2021). estadísticas. Obtenido de https://totoro.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go&NQUser=publico&NQPassword=publico123&Action=prompt&path=%2Fshared%2FSeries%20Estad%3%ADsticas_T%2F1.1%20Tasa%20de%20Cambio%20Peso%20Colombiano%2F1.1%20TRM%20%20Disponible%20desde%20el%2027%20de%20noviembr
- Bejarano, N. (Junio de 2014). bibliotecadigital.usbcali.edu.co. Recuperado el febrero de 2021, de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2443/1/Evaluacion_Fisioquimica_Bioplastico_Harina_De_Yuca_Bejarano_2014.pdf

- Cabrera, M., Gómez, R., Rodríguez, S., López, J., Rayas, A., Basail, M., . . . Rodríguez, G. (2008). Multiplicación in vitro de segmentos nodales del clon de ñame Blanco de Guinea (*Dioscorea cayenensis* - *D. rotundata*) en sistemas de cultivo semiautomatizado. *Revista*, 10(2), 97-103.
- Canónico, M. (Octubre de 2003). gro.cinvestav.mx. Recuperado el Noviembre de 2020, de <http://gro.cinvestav.mx/~aherrera/tesisEstudiantes/tesisMarciaCanonico.pdf>
- Canter, L. W. (1998). *Manual de evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Chinchayhuara, R., y Quispe, R. (2018). https://www.academia.edu/37705505/facultad_de_ingenier%20da_escuela_profesional_de_ingenier%20da_ambiental_tesina_elaboraci%20n_de_biopl%20sticos_con_residuos_org%20nicos_a_base_de_c%20sacara_de_pl%20tano_y_mang_o_para_reducir_la_contami.
- Conesa, V. (1993). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Mundi - Prensa.
- Cornejo, G., Marinero, E., Funes, C., y Toruño, P. (2020). Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1359-1382.
- Corrales, A., Maldonado, M., Urango, L., Franco, M., y Rojano, B. (2014). Mango de azúcar (*Mangifera indica*), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista chilena de nutrición*, 41(3), 312-318.
- Doncel, P., y Pérez, A. (2017). *Burkholderiacepacia aisladas de variedades de ñame con actividad*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* -, S(9), 31-38.
- EcuRed. (15 de julio de 2019). Almidón. (EcuRed, Editor) Recuperado el 22 de Diciembre de 2019, de <https://www.ecured.cu/index.php?title=Almid%C3%B3n&oldid=3458573>
- Elías, X., y Jurado, L. (01 de 01 de 2012). Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. En X. Elías Castells, *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioupensp/reader.action?docID=3228526>
- Ferro, A., Toledo, A., y Cadalso, J. (01 de 01 de 2008). El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado. La Habana: Editorial Universitaria,. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioupensp/reader.action?docID=3176554>

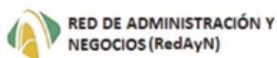
- Figueroa, A., Contreras, R., y Sánchez, J. (1998). Evaluación de impacto ambiental. Un instrumento para el desarrollo. Cali: Centro de estudios para el desarrollo regional - Corporación universitaria autónoma de occidente.
- Franco - Urquiza, E. A., y Maspoch, M. L. (2017). *AFINIDAD*, 74(579), 221-227.
- García, A. (Enero de 2015). itca.edu.sv. Recuperado el Septiembre de 2020, de <https://www.itca.edu.sv/>
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., y Garmendia, L. (2005). Evaluación de impacto ambiental. Madrid: Pearson educación, S.A.
- Gere, J. M., y Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales* (Séptima edición ed.). México D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Holguín, J. (Febrero de 2019). repository.uamerica.edu.co. Recuperado el 2020, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] . (25 de 04 de 2021). <http://www.ideam.gov.co/>. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Mejía, L., Martínez, H., Betancourt, J., y Castrillón, C. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia*, 3(6), 41–62.
- Mendoza, H., y Ortiz, M. (2020). Importancia y determinantes de la asociación productiva agrícola: el cultivo de ñame en el caribe colombiano. *Sociedad y economía*, 41, 88-108.
- Meneses, J., Corrales , C. M., y Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Eia*(8), 57 - 67.
- ONU medio ambiente. (05 de Junio de 2018). El estado de los plásticos. Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018. Obtenido de [wedocs.unep.org:](https://wedocs.unep.org/) https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Pluas, R., Martínez, C., y Zambrano , Y. (2020). Los bioplásticos: para una alternativa ecológica. *Polo de conocimiento*, 274-282.
- Roca, I. (septiembre de 2005). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf. Recuperado el 26 de Junio de 2021, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf

- Rodríguez, W. (2000). Botánica, domesticación y fisiología del cultivo de ñame (*Dioscorea alata*). *Agronomía Mesoamericana*, 11(2), 133-152.
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *ciencia y tecnología de alimentos*. *Ciencia y Tecnología de Alimentos Vol 22 N° 3*, 69-72.
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., y Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de Iniciación Científica*, 4(edición especial N°2), 28-32.
- Ruiz, G. (Septiembre de 2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *ingeniería y ciencia*, 2(4), 5-28. Obtenido de <https://search.proquest.com/ebookcentral/docview/2130984211/bookReader?accountid=45678&ppg=1>
- Segura, D., Noguez, R., y Espín, G. (01 de 01 de 2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14, 361-371. Obtenido de http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_31.pdf
- Sumaya, M., Sánchez, L., Torres, G., y García, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista mexicana de agronegocios*, 30, 826-833.
- Timoshenko, S. (1957). Resistencia de materiales, primera parte. teoría elemental y problemas. Madrid: Espasa-calpe S.A.
- United Nations Environmental Programme [UNEP]. (2018). single-use plastics a roadmap for sustainability. obtenido de https://www.academia.edu/attachments/57249802/download_file?st=mtu3otaynzgwniwxnjeumtaumtg3ljexmcwzntqwndiwnng%3d%3d&s=email&ct=mtu3otaynzgwnywxntc5mdi3odewldm1nda0mja2
- Universidad Nacional de Misiones. (2013). Gelatinización y otras propiedades del almidón.
- Vargas Aguilar, P, y Hernández Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*, 26(I), 37-45.
- Wikipedia, c. d. (3 de Diciembre de 2019). almidón. (L. e. Wikipedia, Editor) Recuperado el 22 de Diciembre de 2019, de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Almid%C3%B3n&oldid=121768802>
- Wu, J., Chen, H., y Fang, T. (1993). Mango juice. En C. C. I.S. Nagy, *Fruit Juice Processing* (págs. 620-655). Auburndale: Agscience In Company.

El libro Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables - Colección Unión Global, es resultado de investigaciones desarrolladas por sus autores. El libro es una publicación digital, cuenta con el apoyo de los grupos de investigación de: Universidad Sur del Lago "Jesús María Semprúm" (UNESUR) - Zulia - Venezuela; Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kleber Ramírez (UPTM) - Mérida - Venezuela; Universidad Guanajuato (UG) - Campus Celaya - Salvatierra - Cuerpo Académico de BIODesarrollo y Bioeconomía en las Organizaciones y Políticas Públicas (CABBOPP) - Guanajuato - México; Cuerpo Académico Consolidado "Administración Aplicada" (CUADAP) - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - Puebla - México; Red de Administración y Negocios (RedAyN) - Universidades Mexicanas - México; Centro de Altos Estudios de Venezuela (CEALEVE) - Zulia - Venezuela; Centro Integral de Formación Educativa Especializada del Sur (CIFE - SUR) - Zulia - Venezuela y el Centro de Investigaciones Internacionales SAS (CEDINTER) - Antioquia - Colombia. Este libro se terminó de diagramar en los Talleres de del Centro de Investigaciones Internacionales S.A.S. en septiembre de 2023.



Universidad Nacional Experimental Sur del Lago
"Jesús María Semprum"
La Casa de los Saberes del Pueblo



Fondo Editorial de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago
"Jesús María Semprum"

LIBRO RESULTADO DE INVESTIGACIONES COLECCIÓN UNIÓN GLOBAL

El libro Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables - Colección Unión Global, es resultado de investigaciones desarrolladas por sus autores. El libro es una publicación internacional, arbitrada, de acceso abierto a todas las áreas del conocimiento, orientada a contribuir con procesos de gestión del conocimiento científico, tecnológico y humanístico. Con esta colección, se aspira contribuir con el cultivo, la comprensión, la recopilación y la apropiación social del conocimiento en cuanto a patrimonio intangible de la humanidad, con el propósito de hacer aportes con la transformación de las relaciones socioculturales que sustentan la construcción social de los saberes y su reconocimiento como bien público.

El libro Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables - Colección Unión Global, es resultado de investigaciones desarrolladas por sus autores. El libro cuenta con el apoyo de los grupos de investigación: Universidad Sur del Lago "Jesús María Semprúm" (UNESUR) - Zulia - Venezuela; Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kleber Ramírez (UPTM) - Mérida - Venezuela; Universidad Guanajuato (UG) - Campus Celaya - Salvatierra - Cuerpo Académico de Biondesarrollo y Bioeconomía en las Organizaciones y Políticas Públicas (CABBOPP) - Guanajuato - México; Cuerpo Académico Consolidado "Administración Aplicada" (CUADAP) - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - Puebla - México; Red de Administración y Negocios (RedAyN) - Universidades Mexicanas - México; Centro de Altos Estudios de Venezuela (CEALEVE) - Zulia - Venezuela; Centro Integral de Formación Educativa Especializada del Sur (CIFE - SUR) - Zulia - Venezuela y el Centro de Investigaciones Internacionales SAS (CEDINTER) - Antioquia - Colombia y diferentes grupos de investigación del ámbito nacional e internacional que hoy se unen para estrechar vínculos investigativos, para que sus aportes científicos formen parte de los libros que se publiquen en formato digital.

Versión digital
Medellín - Colombia
septiembre de 2023

Almidones orgánicos como alternativa en la elaboración de plásticos biodegradables

El calentamiento global, causado en parte por el aumento del consumo de combustibles fósiles y la producción de plásticos derivados de ellos, plantea preocupaciones ambientales significativas. La contaminación plástica es particularmente problemática, con millones de toneladas de plásticos que ingresan a los océanos y tardan siglos en descomponerse.

El reciclaje se ha considerado como una solución, pero su compleja gestión y la contaminación de los plásticos dificultan su viabilidad. Además, hay una creciente preocupación global por reducir el uso de plásticos, especialmente las bolsas de un solo uso.

Esta investigación se centra en evaluar la viabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de almidones de ñame y mango como una alternativa sostenible a los plásticos derivados de combustibles fósiles. Se exploran diferentes técnicas de fabricación para mejorar las propiedades físicas de estos bioplásticos, incluyendo la adición de agentes químicos y materiales orgánicos.

El momento es propicio para esta investigación debido a los esfuerzos globales para reducir el uso de plásticos y las regulaciones gubernamentales que promueven alternativas biodegradables. Además, se destaca el potencial de aprovechar productos agrícolas como el ñame y la yuca, que a menudo sufren pérdidas postcosecha y podrían generar mercados y productos con mayor valor agregado.

Este estudio compara diferentes bioplásticos en términos de resistencia y su impacto ambiental, lo que podría proporcionar información valiosa para la toma de decisiones. Las pruebas se llevaron a cabo de manera rigurosa, con un enfoque en la homogeneidad de los resultados.

ISBN: 978-980-6516-91-5



Fondo editorial de la
Universidad Nacional Experimental
Sur del Lago "Jesús María Semprum"

