

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*

Biodegradability of bioplastics made from *Mangifera indica* and *Musa paradisiaca* peels

Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi* , Lilian del Carmen Huamán Mogollón ,
Hugo Pecho Chipa , Michiel Elizabeth Chacón Chacón 

Universidad César Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Avenida Del Parque 640, San Juan de Lurigancho, Lima, Perú, CP15434

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 03/03/2020
Aceptado: 04/09/2020

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi
fsernaque@ucv.edu.pe
fsernaque@yahoo.es



RESUMEN

Los bioplásticos han sido creados como una alternativa ecoeficiente para reemplazar al plástico tradicional, estos se obtienen a partir de polímeros naturales extraídos de celulosa o almidón y son 100 % biodegradables. La presente investigación tiene como objetivo analizar la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*, para lo cual se dividió la investigación en dos partes: elaboración del bioplástico y ensayo de biodegradabilidad. En la primera etapa se utilizó una metodología basada en la adición de plastificantes como el agua y glicerol, es aquí en donde se elaboraron bioplásticos con distintos volúmenes de glicerol, para obtener características físicas desiguales. En la última etapa, se utilizó humus de lombriz como medio de degradación, el rango de tiempo utilizado para estimar la biodegradabilidad de las láminas fue de 1 a 4 semanas. Finalmente se determinó que el bioplástico elaborado con cáscara de mango tuvo una reducción del 93,06 % en su peso inicial y el bioplástico elaborado con cáscara de plátano un 73,16 % de reducción en su peso inicial al finalizar el estudio. Con base a los diferentes volúmenes en la adición de glicerol para la preparación del bioplástico se determinó que tiene una relación directa con la biodegradabilidad de la lámina ya que, al aumentar la cantidad de glicerol, aumenta la biodegradabilidad de las láminas.

Palabras clave: almidón, celulosa, densidad, glicerol, porosidad

ABSTRACT

Bioplastics have been created as an eco-efficient alternative to traditional plastic. They are obtained from natural polymers extracted from cellulose or starch, and are 100 % biodegradable. The aim of this research is to analyse the biodegradability of bioplastics made from *Mangifera indica* and *Musa paradisiaca* peels for which the research was divided into two parts: preparation of the bioplastic and biodegradability test. In the first stage, a methodology based on the addition of plasticizers such as water and glycerol were used. It is here where bioplastics were elaborated with different volumes of glycerol, to obtain unequal physical characteristics. In the last stage, worm humus was used as a degradation medium, the time range used to estimate the biodegradability of the sheets was 1 to 4 weeks. Finally, it was determined that the bioplastic made from mango peel had a reduction of 93.06 % in its initial weight and the bioplastic made from banana peel had a 73.16 % reduction in its initial weight at the end of the study. Based on the different volumes in the addition of glycerol for the preparation of the bioplastic, it was determined that it has a direct relationship with the biodegradability of the film, since the greater the amount of glycerol, this will increase the biodegradability of the films.

Keywords: starch, cellulose, density, glycerol, porosity

INTRODUCCIÓN

Los plásticos se han convertido en un contaminante persistente a causa de su creciente nivel de producción y el uso extenso en todo el mundo (Li, Liu y Paul Chen, 2018), es por ello que se han adoptado medidas gubernamentales de protección al medio ambiente en muchos países realizando acciones de reducción de plástico en un intento por disminuir su consumo y contaminación. Algunas de estas medidas, consisten en obtener plástico que sea biodegradable, como son los polihidroxialcanoatos (PHA) o los polihidroxibutiratos (PHB) también llamados bioplásticos, los cuales se componen de biopolímeros que pueden ser degradados fácilmente por microorganismos (Agustín y Padmawijaya *et al.*, 2017). Son capaces de reemplazar una serie de plásticos tradicionales que actualmente están compuestos de productos petroquímicos (Yaradoddi, Patil y Banapurmath, 2016).

Acorde con ello, las materias primas para bioplásticos se originan a partir de componentes naturales como los polisacáridos, proteínas y lípidos, etc. (Maulida *et al.*, 2018). En ese sentido, los desperdicios de alimentos como materia

prima inicial son una buena opción para la elaboración de bioplásticos, estos deben ser pretratados para mejorar o modificar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del bioplástico (Tsang *et al.*, 2019). Luego, se realizan los procesos de conversión que consisten en la liberación parcial o total de monómeros provenientes de desperdicios de alimentos (p. Ej., Componentes lignocelulósicos) con mayor accesibilidad de proteínas, lípidos y polisacáridos (p. Ej., Almidón y celulosa) para la posterior hidrólisis enzimática y fermentación (Barisik *et al.*, 2016).

Los residuos de fruta en este caso, las cáscaras de mango y plátano, servirán como alternativas potenciales a los materiales plásticos convencionales debido a su elevado contenido en almidón y celulosa. Las cáscaras de plátano se pueden usar como sustratos en procesos biotecnológicos (Bharathiraja *et al.*, 2017) ya que contienen aproximadamente de 60 a 65 % de celulosa, 6 a 8 % de hemicelulosa y 5 a 10 % de lignina (Liew *et al.*, 2018). Mientras que los residuos de mango (40-60 % de los residuos totales) si se fraccionan proporcionan biopolímeros y compuestos bioactivos de alto valor económico (Banerjee *et al.*, 2018);

además, de estos residuos se obtienen biopolímeros como la hemicelulosa (8,1 %), celulosa (9,19 %), lignina (4,25 %) y pectina (10-21,2 %) de las cáscaras de mango (Kermani *et al.*, 2015). Por otro lado, cabe destacar que existen diversos materiales para la obtención de bioplásticos, pero muy escasa investigación de la biodegradabilidad de estos, por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo analizar la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En la elaboración de bioplástico a partir de residuos de *M. indica* y *M. paradisiaca* se utilizaron las siguientes proporciones (Castillo *et al.*, 2015, p. 36): 10 g de cáscara de fruta, 10 g de almidón de maíz, 60 mL de agua de grifo, vinagre blanco y glicerina (Tabla 1). Así mismo, se utilizaron instrumentos de laboratorio para la mezcla de insumos como un horno de secado y licuadora, posteriormente en la colocación de bioplástico se emplearon placas de vidrio.

Preparación de bioplástico

Para la elaboración de bioplástico a partir de *M. indica* y *M. paradisiaca* lo primero que se realizó fue una adecuación inicial para eliminar los contaminantes o compuestos no necesarios de las cáscaras. Esta adecuación consistió en el lavado del material con agua caliente durante 5 minutos (López *et al.*, 2014, p. 11). Además, las cáscaras de *M. paradisiaca* se cortaron en cuadrados pequeños. Se agregó en un vaso

precipitado almidón de maíz, agua de grifo, glicerina y vinagre blanco, estos fueron mezclados para formar una sustancia homogénea. De esta manera, la glicerina (plastificante) le otorgó mayor consistencia y elasticidad al bioplástico, esta solución se disolvió completamente con la ayuda del mechero Bunsen, luego se observó una masa espesa.

Por otro lado, en una licuadora se colocaron las cáscaras de fruta y 30 mL de agua con la finalidad de obtener una mezcla, donde finalmente se combinaron esta solución y la mezcla del vaso precipitado.

Se elaboraron dos bioplásticos tomando como variable, la cantidad de glicerina ya que este provee características de elasticidad y resistencia al bioplástico (Tabla 2).

Finalmente, la mezcla se colocó en un molde de vidrio con dimensiones de 10 cm × 10 cm, luego se introdujo en el horno de secado a 130 °C, y se horneó hasta que la lámina de bioplástico se secó (Yaradoddi *et al.*, 2016). Se realizaron 10 muestras para cada tipo de cáscara con las diferentes dosis de glicerina en tiempos de 1 semana, 2 semanas y 4 semanas; siendo un total de 60 muestras.

Análisis de biodegradabilidad

Previo al análisis de biodegradabilidad se realizó una caracterización del material (humus de lombriz) en el cual se introdujo el bioplástico casero; para ello se realizaron mediciones de pH (Hanna HI 8424), conductividad (Crison Basic 30), densidad aparente y real, porosidad y humedad. Para calcular la porosidad, primero se realizaron las mediciones de densidad aparente y real con el

Tabla 1. Factores seleccionados para el diseño de experimentos

Factor	Cantidad
Maicena (g)	10
Vinagre blanco (mL)	3
Agua destilada (mL)	60
Temperatura (C°)	130
Cáscara de <i>M. indica</i> y <i>M. paradisiaca</i> (g)	10

Tabla 2. Variables seleccionadas para el diseño de experimentos

Variable	Constantes
Glicerina (mL)	Maicena (g)
2	Vinagre blanco (mL)
4	Agua destilada (mL)
6	Temperatura (C°)
8	
10	
12	Cáscara de <i>M. indica</i> y <i>M.</i>
14	<i>paradisiaca</i> (g)
16	
18	
20	

uso de la siguiente fórmula (Ababsa *et al.*, 2019):

$$\% \varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) * 100$$

Donde:

% ε : Porcentaje de Porosidad

ρ_a : Densidad aparente

ρ_r : Densidad real

Adicionalmente, se realizó la medición de la humedad mediante el método gravimétrico, el cual consiste en secar una cantidad mínima de la muestra en un horno a 105 °C durante 24 a 72 h (Myeni, Moeletsi y Clulow, 2019). Para obtener el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(P_i - P_f)}{m} * 100$$

Donde:

P_i: Peso de la placa más muestra

P_f: Peso de la placa más muestra seca

m: Peso de la muestra

La lámina de bioplástico (10 cm × 10 cm) con un peso inicial (W₀) se introdujo en suelo con humus húmedo a una profundidad de 3,5 cm en un recipiente de vidrio. Después de 1, 2 y 4 semanas la muestra se retiró del suelo, se limpió de las partículas de suelo unidas, se secó

a 105 °C durante 3 h. para determinar el nuevo peso (W_t). Esto continuó hasta que fue degradado aproximadamente el 30 % de la muestra. El porcentaje de pérdida de peso (% WL) se determinó de la siguiente manera (Amin y Chowdhury, 2019):

$$\% WL = \frac{(W_o - W_t)}{W_o} * 100$$

Dónde:

W₀ es el peso inicial de la muestra después del secado, pero antes del entierro.

W_t es el peso final de la muestra después del entierro y el pesaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del humus de lombriz

Los parámetros que se visualizan en la Tabla 3 y Tabla 4 son los valores obtenidos por la caracterización del humus antes de la introducción del bioplástico, del mismo modo, se realizó la caracterización del humus luego de retirar el bioplástico que estuvo almacenado en esta sustancia durante un mes, con la finalidad de comprobar si la biodegradabilidad del bioplástico casero ocasionaba algún cambio.

El grado de dispersión de los valores tomados no se alejan de la media, lo que otorga mayor homogeneidad de estos parámetros. Asimismo, la introducción del bioplástico fue en una sustancia alcalina, en condiciones húmedas con

Tabla 3. Caracterización inicial del Humus

Parámetro	Humedad	Potencial Hidronio	Porosidad	Conductividad
Unidad	%	-	%	mS / cm
Media	31,15	8,16	11,21	6,62
Varianza	0,33	0,005	0,02	1,18
Desviación Estándar	0,57	0,07	0,14	1,09

Tabla 4. Caracterización final del Humus

Parámetro	Humedad	Potencial Hidronio	Porosidad	Conductividad
Unidad	%	-	%	mS / cm
Media	4,27	8,35	16,86	37,9
Varianza	0,18	0,0027	0,79	45,38
Desviación Estándar	0,43	0,05	0,89	6,74

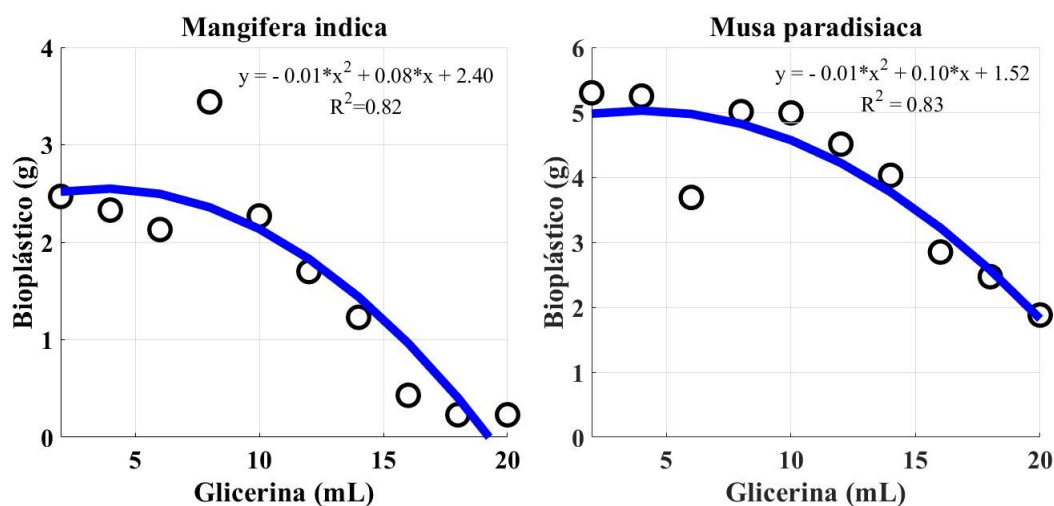
31,15 %, provocando una mayor retención de agua entre el humus y el bioplástico. Además, el porcentaje de porosidad fue del 11,21 %, que permite la aireación y drenaje del suelo.

Posteriormente se realizó la caracterización del humus una vez retirado el bioplástico almacenado durante un mes; de este modo, se observó una reducción en el porcentaje de humedad, esto se debe a que los biopolímeros para ser degradados y perder peso molecular, utilizan las moléculas de agua presentes en el humus, las cuales hinchan y atacan principalmente a los enlaces ésteres inestables del objeto biodegradable convirtiendo a las cadenas de polímeros en fragmentos cortos solubles en agua, lo que reduce la humedad del

humus mediante la absorción del agua que se produce durante el proceso de degradación. Por otro lado, el pH aumentó levemente permaneciendo alcalino, lo mismo ocurrió con la conductividad que aumentó a 37,9 mS / cm lo que indica un aumento de sales en el humus.

Biodegradabilidad del bioplástico con *M. indica* y *M. paradisiaca*

Se realizaron regresiones simples no lineales con la intención de estimar la relación que existe entre el volumen de glicerina y el peso final del bioplástico después del tiempo planteado de 4 semanas, 2 semanas y 1 semana. En ese sentido, la Figura 1 y la Figura 2 muestran la existencia de una óptima relación

**Figura 1.** Regresiones simples no lineales - 4 Semanas

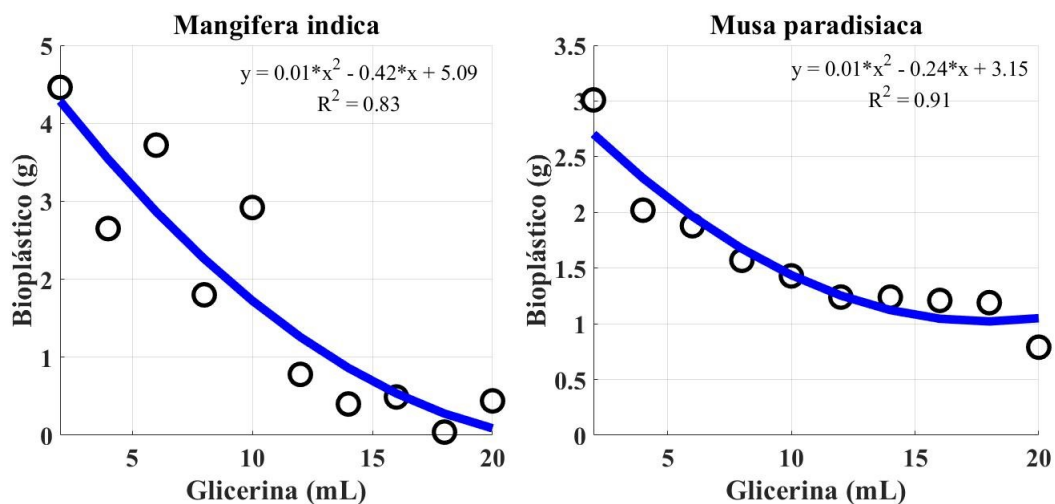


Figura 2. Regresiones simples no lineales - 2 Semanas

entre el volumen de glicerina y el peso final del bioplástico ya que a mayor dosis de glicerina aplicada habrá mayor reducción en el peso del bioplástico mediante el proceso de degradación. Además, se encontró una correcta correlación en los tiempos de 4 y 2 semanas, en comparación del bioplástico retirado en 1 semana, en donde se obtuvo una correlación menor del 80 % de confiabilidad, es por ello que se discriminaron estos datos, esto puede deberse al poco tiempo en el cual estuvo el bioplástico en contacto con los microorganismos presentes en la materia orgánica (MO).

Análisis comparativo y de reducción en la masa del bioplástico en función a la glicerina

En este caso de estudio, la biodegradabilidad se realizó bajo una humedad relativa inicial del 31,15 % en humus de lombriz. Esta condición,

pudo afectar positiva o negativamente al bioplástico por los microorganismos presentes en el suelo, el contenido de humedad del suelo, las condiciones climáticas y las propiedades del bioplástico como la densidad y la humedad. En la Figura 3 y la Figura 4, se presentan los datos de la reducción de bioplástico en los tiempos de 4 y 2 semanas respectivamente en función de la glicerina aplicada en la elaboración de cada lámina de bioplástico.

En la Figura 5 se observa que en la segunda semana de experimento la lámina de bioplástico perteneciente a la cáscara de mango había perdido el 34,68 % de su peso inicial y después de 4 semanas el 93,06 % de su peso inicial. Mientras que, el bioplástico elaborado con cáscara de plátano mostró una pérdida del 23,41 % en la segunda semana y finalmente después de 4 semanas mostró una pérdida de

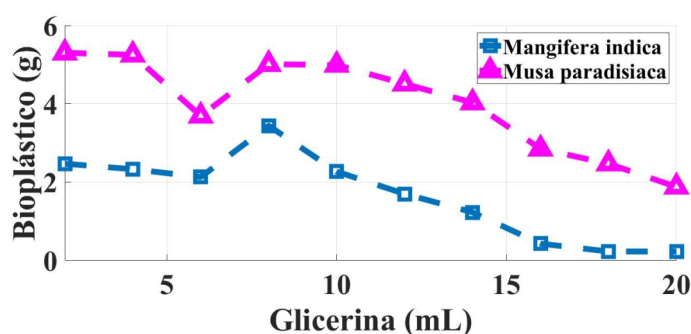


Figura 3. Reducción de la masa del bioplástico en función del volumen de glicerina - 4 Semanas

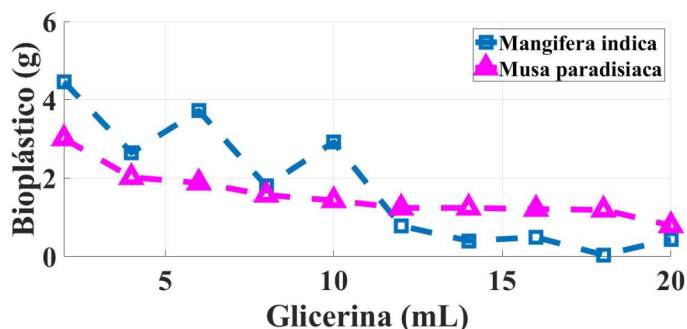


Figura 4. Reducción de la masa del bioplástico en función del volumen de glicerina - 2 Semanas

73,16 % de su peso inicial.

Por otro lado, durante el proceso de degradación del bioplástico se observó que mientras mayor fue la cantidad de glicerina utilizada durante la fabricación del bioplástico aumentó la degradabilidad de las láminas. Debido a que el glicerol reduce las fuerzas intermoleculares del almidón y así disminuye significativamente las fuerzas de las láminas, además el efecto de plastificación del glicerol se debe a su capacidad de reducir el enlace interno de hidrógeno (Zhou, Mohanty y Misra, 2013). Es por ello que la adición de glicerol que actúa como plastificante disminuye la resistencia de las láminas de bioplástico hechas con cáscara

M. indica y *M. paradisiaca*. Como lo menciona Ramakrishnan *et al.* (2018), cuando aumenta la concentración de glicerol, disminuye el tiempo necesario para que la película de bioplástico se degrade, por ejemplo, la película a base de una concentración mínima de glicerol demoró más tiempo en degradarse, esto puede deberse a la alta resistencia y fuerte unión entre plastificante y almidón dentro de la película. Mientras que, para la composición más alta de glicerol, la lámina de plástico tardó menos tiempo en degradarse, esto puede deberse a la baja resistencia y unión entre el almidón y el glicerol dentro de la película (Ullah *et al.*, 2011).

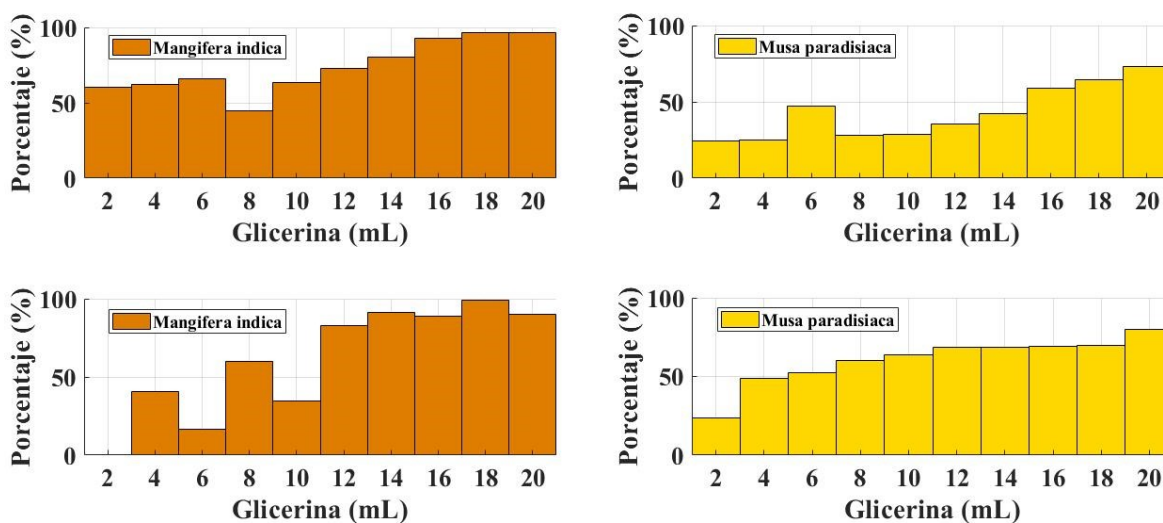


Figura 5. Porcentaje de Reducción de Bioplástico - 4 y 2 semanas respectivamente

CONCLUSIONES

Se concluye que la biodegradabilidad del bioplástico elaborado con cáscara de mango y plátano, tiene una relación directa con el volumen de glicerol empleado durante el experimento; ya que mientras mayor sea la cantidad de glicerol mayor será la biodegradabilidad de las láminas. Según los resultados de la investigación, el máximo porcentaje de reducción en el peso del bioplástico fue a partir de una cantidad de 20 mL de glicerol, degradándose en un 93,06 % el bioplástico elaborado con cáscara de mango y en un 73,16 % el bioplástico hecho con cáscara de plátano. A manera de recomendación es necesario combinar el almidón con otros materiales poliméricos con el fin de producir un material con mejores propiedades mecánicas, como la resistencia al agua, mayor flexibilidad y resistencia al rompimiento como hidroxiácidos aromáticos o alifáticos, ésteres de celulosa, ácidos bicarboxílicos alifáticos, entre otros.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi: Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito, contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo, participó en la creación de los modelos utilizados, tuvo la responsabilidad de supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de investigación, incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales, contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado, fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial.

Lilian del Carmen Huamán Mogollón: Diseñó la investigación, evaluó y recopiló los datos obtenidos en las pruebas de los experimentos, responsable de la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación, conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación, interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito, desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados, fue responsable de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, responsable de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos en la investigación, responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación y responsable de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos en la investigación. Además, de ser responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado y fue el responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación.

Hugo Pecho Chipa: Responsable de la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación, contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos, evaluó y recopiló los datos obtenidos en las pruebas de los experimentos. Desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados, responsable de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, responsable de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos en la investigación. Responsable de la adquisición de

fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación, de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos en la investigación. Y, además, fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Fue el responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación.

Michiel Elizabeth Chacón Chacón: Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación, responsable de la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación. Desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados. Responsable de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación. Fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial.

BIBLIOGRAFÍA

ABABSA, N., KRIBAA, M., OULDJAOU, A., *et al.* 2019. Long-term effects of wastewater reuse on hydro physicals characteristics of grassland grown soil in semi-arid Algeria. *Journal of King Saud University - Science* [en línea], ISSN 1018-3647. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.09.007>.

AGUSTÍN, Y. and PADMAWIJAVA, K. 2017. Effect of glycerol and zinc oxide addition on antibacterial activity of biodegradable bioplastics from chitosan-kepok banana peel starch. *Materials Science and Engineering*, vol. 223, 012046. <https://doi:10.1088/1757-899x/223/1/012046>.

AMIN, R. and CHOWDHURY, M.A. 2019. Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, vol. 5. DOI [10.1016/j.heliyon.2019.e02009](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009).

BANERJEE, J., SINGH, R., VIJAYARAGHAVAN, R., *et al.* 2018. A hydrocolloid based biorefinery approach to the valorisation of mango peel waste. *Food Hydrocolloids* [en línea], vol. 77, pp. 142-151. ISSN 0268-005X. DOI [10.1016/j.foodhyd.2017.09.029](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.029).

BARISIK, G., ISCI, A., KUTLU, N., *et al.* 2016. Optimization of organic acid pretreatment of wheat straw. *Biotechnology Progress*, vol. 32, no. 6, pp. 1487-1493. ISSN 1520-6033. DOI [10.1002/btpr.2347](https://doi.org/10.1002/btpr.2347).

BHARATHIRAJA, S., SURIYA, J., KRISHNAN, M., *et al.* 2017. Production of Enzymes From Agricultural Wastes and Their Potential Industrial Applications. [en línea]. 1. S.I.: Elsevier Inc. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.11.003>.

CASTILLO, R., *et al.* 2015. Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá*, vol. 1, núm. 1, pp. 34-37, ISSN: 2412-0464.

KERMANI, Z., SHPIGELMAN, A., PHAM, H.T.T., *et al.* 2015. Functional properties of citric acid extracted mango peel pectin as related to its chemical structure. *Food Hydrocolloids* [en línea], vol. 44, pp. 424-434. ISSN 0268-005X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.018>.

LI, J., LIU, H. and PAUL CHEN, J. 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* [en línea], vol. 137, pp. 362-374. ISSN 1879-2448. DOI [10.1016/j.watres.2017.12.056](https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>.

- LIEW, R., NAM, W., CHONG, M., *et al.* 2018. Oil palm waste: An abundant and promising feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], vol. 115, pp. 57-69. ISSN 0957-5820. DOI [10.1016/j.psep.2017.10.005](https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.005). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.005>.
- LÓPEZ, J., *et al.* 2014. Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* [en línea], vol. 1, núm. 1, pp. 7-21. ISSN: 2422-4456. Disponible en: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/109>.
- MAULIDA, K. T., HARAHAP, M.B. and GINTING, M.H.S. 2018. Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. *Materials Science and Engineering*, vol. 309, no. 1. ISSN 1757-899X. DOI [10.1088/1757-899X/309/1/012068](https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012068).
- MYENI, L., MOELETSI, M.E. and CLULOW, A.D. 2019. Regional Studies Present status of soil moisture estimation over the African continent. *Journal of Hydrology: Regional Studies* [en línea], vol. 21, pp. 14-24. ISSN 2214-5818. DOI [10.1016/j.ejrh.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.11.004). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.11.004>.
- RAMAKRISHNAN, N., SHARMA, S., GUPTA, A. and ALASHWAL, B.Y. 2018. International Journal of Biological Macromolecules Keratin based bioplastic film from chicken feathers and its characterization. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], vol. 111, pp. 352-358. ISSN 0141-8130. DOI [10.1016/j.ijbiomac.2018.01.037](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.037). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.037>.
- TSANG, Y.F., KUMAR, V., SAMADAR, P., *et al.* 2019. Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, vol. 127, no. January, pp. 625-644. ISSN 0160-4120. DOI [10.1016/j.envint.2019.03.076](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076).
- ULLAH, A., *et al.* 2011. Bioplásticos de Feather Quill. *Biomacromolecules* [en línea]. vol. 12, núm. 10, pp. 3826-3832. DOI: [10.1021/bm201112n](https://doi.org/10.1021/bm201112n).
- YARADODDI, J., PATIL, V. and BANAPURMATH, N. 2016. Biodegradable plastic production from fruit waste material. *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci* [en línea], vol. 5, núm. 4, pp. 72-78. Disponible en: www.ijpras.com.
- ZHOU, X., MOHANTY, A. and MISRA, M. 2013. A New Biodegradable Injection Moulded Bioplastic from Modified Soy Meal and Poly (butylene adipate- co-terephthalate): Effect of Plasticizer and Denaturant. pp. 615-622. DOI [10.1007/s10924-013-0578-y](https://doi.org/10.1007/s10924-013-0578-y).



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.