

# Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados

## Manufacture of starch-based polymers from selected Panamanian tubers

*José Alejandro Rodríguez<sup>1</sup>, Virna Montenegro<sup>2</sup>, Nacari Marín<sup>3\*</sup>*

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Campus Victor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Mecánica Industrial, Campus Victor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>3</sup>Facultad de Mecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

\*Autor de correspondencia: [nacari.marin@utp.ac.pa](mailto:nacari.marin@utp.ac.pa)

**Resumen.** El alto índice de contaminación plástica en la actualidad ha llevado a la búsqueda de soluciones que sean amigables con el ambiente. Se presenta un estudio de la fabricación de polímero biodegradable a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados (yuca, ñame, otoi y ñampi) y su evaluación mediante un análisis de tensión y biodegradación. Se generó un procedimiento para la extracción de almidón de los tubérculos, así como de la fabricación de biopolímero. El ensayo de tensión se hizo de manera artesanal con una probeta ASTM D638-14 tipo IV incrementando progresivamente el peso y registrando fotográficamente hasta su fractura. El ensayo de biodegradación se monitoreaba la presencia de hongos, se hizo un ensayo con una solución con enzimas digestivas que contenía amilasa, registrando su desintegración en 24 horas y por último, se sembraron los segmentos directamente al suelo y se registró su descomposición después de 7 y 15 días. Se pudo extraer el almidón y fabricar biopolímeros de todos los tubérculos mediante la metodología presentada. La acuosidad del almidón decantado variaba según el tubérculo. El biopolímero generado por ambos fue muy similar y dos de los óptimos para fabricar y cortar. En los ensayos de tensión el biopolímero de otoi mostró mayor resistencia al esfuerzo y deformación previa a la fractura comparado con los demás tubérculos y biopolímero de almidón de maíz utilizando la misma metodología de fabricación. Todos los biopolímeros mostraron avances en su proceso de biodegradación.

**Palabras clave.** Ácido poliláctico, almidón, biopolímero, tubérculos.

**Abstract.** The high rate of plastic pollution today has led to the search for solutions that are friendly to the environment. A study of the manufacture of starch-based biodegradable polymer from selected Panamanian tubers (cassava, yam, otoi and ñampi) and its evaluation by stress and biodegradation analysis is presented. A procedure was generated for the extraction of starch from the tubers, as well as for the manufacture of biopolymer. The tensile test was carried out by hand with an ASTM D638-14 type IV test piece, progressively increasing the weight and photographically registering until its fracture. The biodegradation test monitored the presence of fungi, a test was made with a solution with digestive enzymes containing amylase, recording its disintegration in 24 hours and finally, the segments were planted directly in the soil and their decomposition was recorded after 7 and 15 days. Starch could be extracted, and biopolymers made from all the tubers using the presented methodology. The wateriness of the decanted starch varied according to the tuber. The biopolymer generated from cassava and otoi was very similar and two of the best for manufacturing and cutting. In the tensile tests, the otoi biopolymer showed greater resistance to stress and deformation prior to fracture compared to the other tubers and corn starch biopolymer using the same manufacturing methodology. All biopolymers showed advances in their biodegradation process.

**Keywords.** Polylactic acid, starch, biopolymer, tubers.

## 1. Introducción

En la actualidad, la fuente más común para la elaboración de polímeros sintéticos son los combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural. El desarrollo de la tecnología de fracturación hidráulica en la década inicial del siglo XXI permitió acceder a grandes reservas de estas fuentes fósiles, llevando a la disminución del precio de la materia prima [1] [2] [3]

La raíz de la crisis de contaminación plástica de fuentes fósiles es el elevado tiempo de vida que estos tienen. Su mayor aplicación se centra en productos de consumo, en especial los empaques y plásticos de un solo uso o desechables. El tiempo de funcionalidad es muy reducido y son, virtualmente, indestructibles por medios naturales. Las bolsas plásticas duran 100 años en degradarse y los envases desechables de polietileno expandido o “foam” duran 400 años en descomponerse [4]. La contaminación plástica en el océano recibe, aproximadamente, el equivalente a tirar un camión de basura, directamente, al mar cada minuto, de cada día, todos los días [5].

Los métodos de incineración, reciclaje y vertederos no han podido darse abasto ante la gran cantidad de desechos plásticos que genera la sociedad y la incapacidad que tiene para degradarse a lo largo del tiempo [6]. Ante esta realidad, se vuelve imperante buscar alternativas que sean biodegradables y de fuentes renovables. Es por ello, que la industria global de bioplásticos ha tenido un crecimiento estable en los últimos años [7][8][9].

Un compuesto que es aprovechado para la producción de biopolímero vegetal es el ácido poliláctico, presente en el almidón o fécula de alimentos, como el maíz y la papa [10]. De estos materiales se han obtenido productos como vasos desechables, contenedores para comida, botellas plásticas, cubiertos desechables y bolsas [11].

En Panamá, aparte del maíz y la papa, se cosechan otras siembras almidonadas como el arroz, caña de azúcar y tubérculos [12]. Los tubérculos almidonados panameños como la yuca, el ñame, el oteo y el ñampí son una fuente rica en almidón, por lo que se consideran rubros potenciales para el desarrollo de biopolímeros. En este sentido, se hace necesario realizar investigaciones en torno a las propiedades del biopolímero derivado de este rubro regional, con el objetivo de identificar aplicaciones potenciales que reemplacen al plástico.

Este estudio se enfoca en la fabricación y evaluación de polímeros a base de ácido poliláctico extraído de tubérculos cultivados en Panamá, tal es el caso del ñampí, yuca, oteo y ñame.

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Panamá, provincia de Panamá, y en la provincia de Los Santos, específicamente, en la Villa de Los Santos y Tonosí.

## 2. Materiales y Métodos/ Metodología

Los tubérculos utilizados en la investigación son yuca parafinada, oteo, ñame baboso, ñame diamante, ñame chombo y ñampí. Se presenta el procedimiento empleado para extraerles su almidón y posteriormente utilizarlo en la fabricación del biopolímero de acuerdo con la literatura científica consultada [13][14].

Este biopolímero se utilizó en los ensayos de tensión y biodegradación

### 2.1 Metodología de extracción de almidón

A cada tubérculo se le retiraba la cáscara, se lavaba con agua y se rallaba. Este se mezclaba con agua en proporción 1 litro de agua por 1 kilogramo de tubérculo rallado. Esta mezcla se licua y se filtra utilizando una tela de algodón. La solución filtrada es una mezcla de agua y almidón. Esta solución se deja decantando en un medio refrigerado por un espacio mínimo de 12 horas. Posterior a este tiempo, se descarta el agua y queda el almidón en el fondo del recipiente. El almidón se puede secar ubicándolo bajo el sol o en un tosta horno a 120°C. El tiempo varía dependiendo del tubérculo y de la cantidad de almidón que se esté secando. El almidón seco se muele hasta lograr un polvo. En la figura 1 se puede observar el procedimiento de extracción de almidón compilado.



Figura 1. Procedimiento de extracción de almidón.

## 2.2 Metodología de elaboración del biopolímero

Los procedimientos para la fabricación del biopolímero se obtuvieron en tomando conceptos y proporciones de la literatura científica consultada [14]. En la tabla 1 se pueden observar los componente y cantidades empleadas en la fabricación del biopolímero.

**Tabla 1.** Componentes y proporciones para la fabricación del biopolímero

Componentes	Cantidades (unidades-porcentaje)
Almidón	30 g (17,6%)
Agua	120 ml (71%)
Glicerina	10 ml (5,9%)
Vinagre	10 ml (5,9%)

Todos los componentes se mezclan en un dispositivo de transferencia de calor de superficie lisa y antiadherente. Para esta investigación se utilizó teflón como superficie antiadherente. Al obtener una solución homogénea, se enciende la fuente de calor y se aumenta la temperatura de manera progresiva hasta alcanzar una temperatura de 130°C. Se sigue mezclando de manera constante hasta obtener una pasta homogénea semitraslúcida. Al aparecer burbujas repartidas en la pasta, se apaga la fuente de calor y se deja secar por 4 días. En la figura 2 se pueden observar la metodología empleada para la fabricación del biopolímero



**Figura 2.** Compilación de pasos para la fabricación del biopolímero.

## 2.3 Metodología de ensayo de tensión

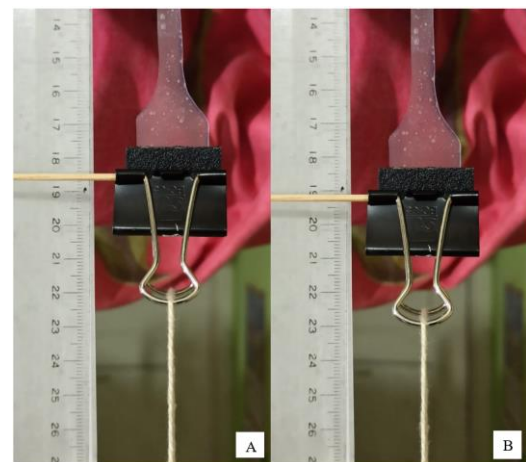
La probeta utilizada para los ensayos de tensión se hizo bajo la norma ASTM D638-14 tipo IV B el cual es utilizado para ensayos de tensión en materiales poliméricos. Se corto la

lámina en la forma de la probeta. Debido a la falta de acceso a laboratorios estandarizados por la cuarentena debido al COVID-19, los ensayos de tensión se hicieron de manera casera utilizando una estructura en cual mantenía fijo la parte superior de la probeta y en la parte inferior tenía un recipiente, el cual se llenaba de agua progresivamente en intervalos de 30 ml y registrando fotográficamente la deformación en cada intervalo con ayuda de una regla fija y un indicador de madera adherido a la parte inferior de la probeta. En la figura 3 se puede observar la composición del ensayo de tensión casero.



**Figura 3** Ensayo de tensión casero empleado para los ensayos de tensión de los biopolímeros.

En la figura 4 también se puede observar los registros fotográficos de una probeta de biopolímero de yuca parafinada al iniciar el ensayo y justo antes de la fractura



**Figura 4.** Posición inicial de una probeta de yuca (A) y posición final de la misma probeta antes de la fractura (B).

## 2.4 Metodología de ensayo de biodegradación

Se desarrollaron 3 metodologías para evidenciar el potencial de biodegradación en los biopolímeros de tubérculo.

- Presencia de moho: mediante una investigación de biopolímeros utilizando semilla de mango [15], la presencia de moho es un indicativo de biodegradabilidad en biopolímeros. Por lo cual se busca comparar el crecimiento y el tipo de moho que ambos biopolímeros tengan.
- Desintegración mediante enzimas digestivas: se puede evidenciar la biodegradabilidad de biopolímeros al registrar su desintegración después de estar en una solución con agua durante 24 horas. En este ensayo se hizo la prueba con un ensayo control que solo tenía el biopolímero con 250 ml de agua y en el ensayo experimental tenía el biopolímero con 250 ml y 2 tabletas de multienzimático digestivo que contiene amilasa. Se hace un registro fotográfico antes y después de las 24 horas y se comparan. En la figura 5 están las tabletas utilizadas para los ensayos.



Figura 5. Multi-enzimas digestivas que contiene entre sus componentes amilasa.

- Siembra directa: Con ayuda de una pala se extrajo una sección de tierra horizontal de 3 centímetros de profundidad. En este se colocaban 4 rectángulos del biopolímero de dimensiones 1,5cm x 3cm y un cuadrado de dimensiones 3cm x 3cm. Se hicieron observaciones después de 7 días de siembra y después de 5 días de siembra (ver figura 6 y 7).



Figura 6 Ensayo de biodegradación en sembrado, con la descripción del biopolímero sembrado arriba.



Figura 7 Biopolímeros enterrados para el ensayo de 15 días.




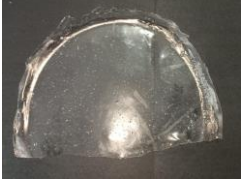
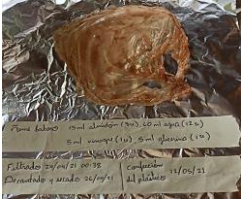

## 3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos son favorables en la fabricación de biopolímeros a partir de todos los tubérculos presentados y presentaron diferentes características según el tubérculo lo cual refuerza el seguir incursionando a futuro en esta línea de investigación.

### 3.1 Fabricación del biopolímero

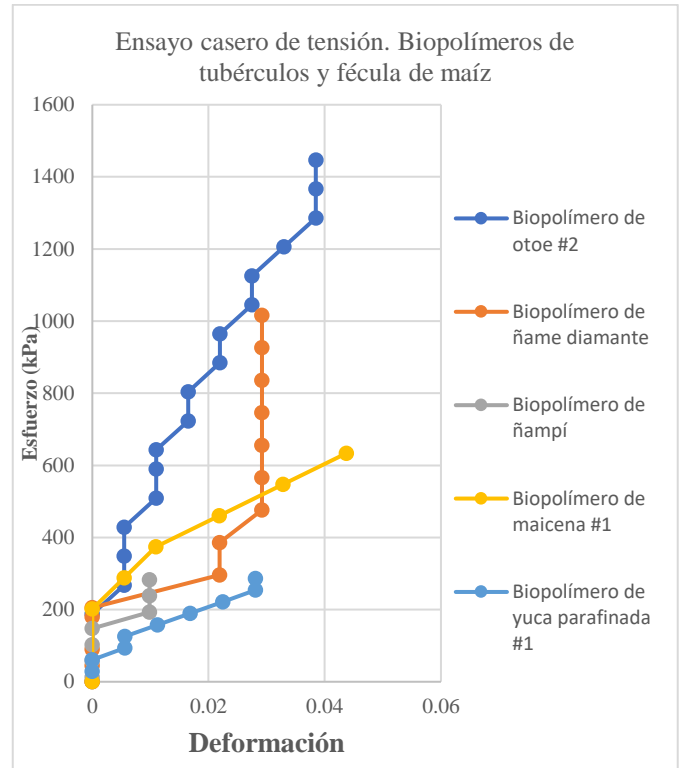
Los almidones y los biopolímeros fueron fabricados de todos los tubérculos mencionados. El almidón de yuca y el de oteo decanto de manera óptima, manteniéndose adherido al fondo del recipiente al momento de remover el agua. Este comportamiento no se repitió en los ñames ni en el ñampí. Al momento de remover el agua, parte del almidón se iba en el agua, por lo que se complicó el poder tener más almidón para generar mayor cantidad de biopolímero. En la tabla 2 se puede ver los registros fotográficos de los diferentes biopolímeros de tubérculo. Los biopolímeros de yuca y oteo fueron muy similares.

Tabla 2. Lista de tubérculos y la imagen del biopolímero

Tubérculo	Biopolímero generado
Otoe	
Ñame chombo	
Ñame diamante	
Yuca parafinada	
Ñame baboso	
Ñampí morado	

### 3.2 Ensayo de tensión

En el ensayo de tensión se puede observar en la gráfica 1 como el biopolímero de otoe obtuvo mejores resultados que todos los biopolímeros en la investigación en cuanto a resistencia al esfuerzo y uno de los mayores en cuanto a la deformación previa a la fractura. Incluso por encima del biopolímero de fécula de maíz (maicena) y el de yuca que ya están comercialmente disponibles.



Gráfica 1 Ensayo casero de tensión de probetas de biopolímeros compilados y probeta de maicena.

### 3.3 Ensayo de biodegradación

El moho que desarrollaron los biopolímeros de tubérculo después de 7 días fueron similares a los encontrados en el biopolímero de semilla de mango [15]. Este desarrollo orgánico se dio en todos los biopolímeros de tubérculos generados (ver figura 8).

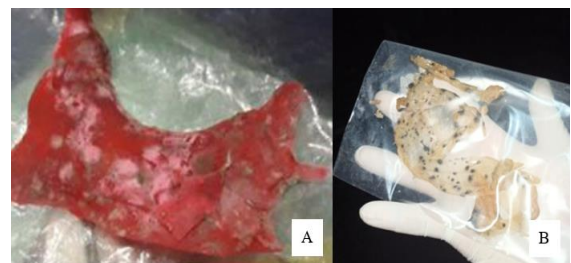


Figura 8 Comparación entre la presencia de moho en biopolímero de semilla de mango [15] (A) y de ñame (B).

Los biopolímeros expuestos a la solución de agua con enzimas digestivas que contienen amilasa se desintegraron de manera avanzada a comparación del ensayo de control con solamente agua. Ver figura 9 para ensayo de control y figura 10 para ensayo experimental.

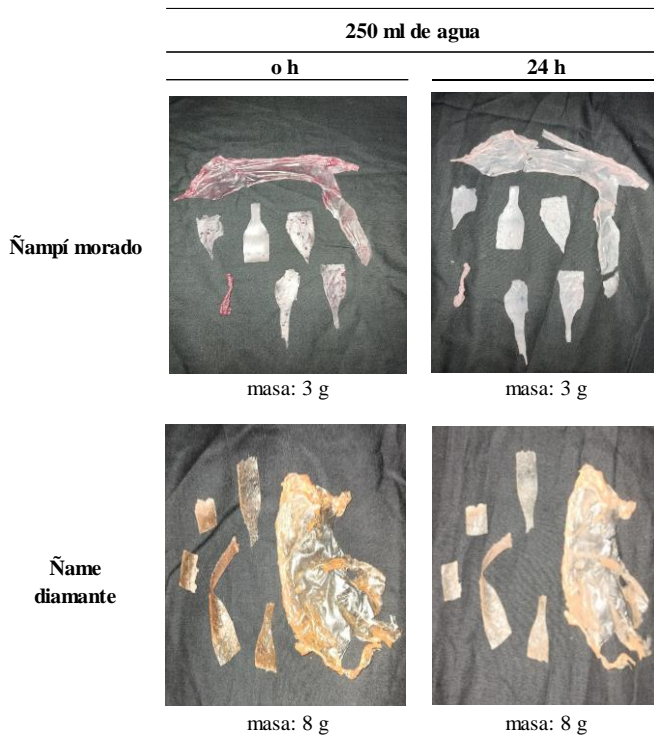


Figura 9 Ensayo control (solo agua) con biopolímeros durante 24 horas.

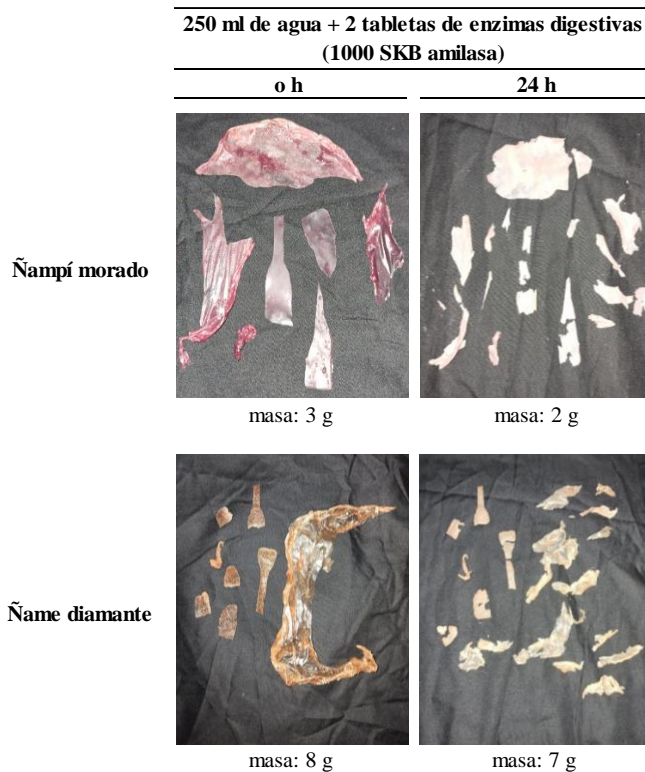


Figura 10 Ensayo experimental (agua con enzimas digestivas) con biopolímeros durante 24 horas.

En la siembra, todos los biopolímeros mostraron biodegradación en los intervalos de 7 y 15. Ver figura 11 para la siembra de polímero de oteo durante 7 días, en comparación con un polímero derivado del petróleo (polipropileno) y en la figura 12 y 13 los ensayos de 15 días con maicena, yuca parafinada y ñame diamante.

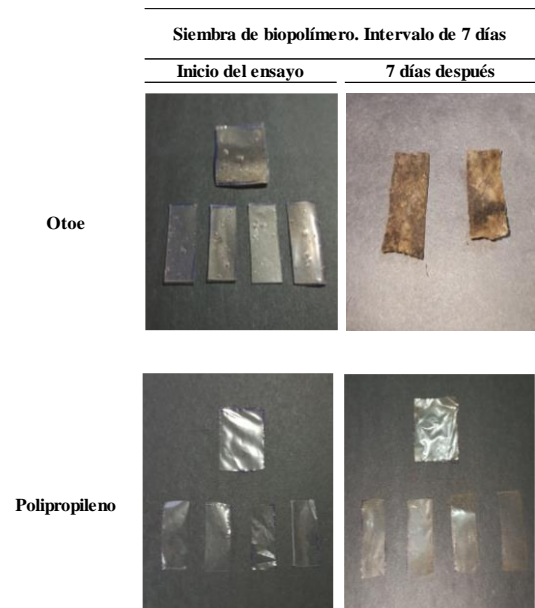


Figura 11 ensayo de biodegradación mediante siembra. Intervalo de 7 días con biopolímero de oteo y polipropileno.

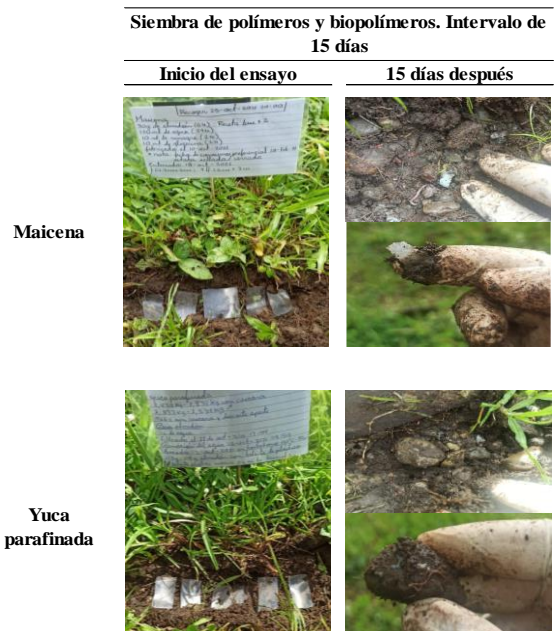


Figura 12 ensayo de biodegradación mediante siembra. Intervalo de 15 días con biopolímero de maicena y yuca.



**Figura 13** ensayo de biodegradación mediante siembra. Intervalo de 15 días con biopolímero de ñame diamante.

## 4. Conclusiones

- La acuosidad en el almidón decantado varía según el tubérculo. Los más compactos fueron la yuca y el oteo.
- Las condiciones de fabricación presentadas permitieron generar biopolímeros de yuca, ñame, oteo y ñampí.
- El biopolímero de oteo presenta mayor resistencia al esfuerzo y deformación previa a la fractura al compararlo con los demás tubérculos y maicena (ya utilizado en el mercado).
- Los ensayos de biodegradabilidad evidencian la descomposición en 15 días de estos biopolímeros.
- Este estudio da base para continuar con el desarrollo de materiales de tubérculos panameños.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá, especialmente al ingeniero José Sánchez y Jesús Villar.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Mckay D. (2020) Fossil fuel industry sees the future in hard-to-recycle plastic. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/new-zealand/story/fossil-fuel-industry-sees-the-future-in-hard-to-recycle-plastic/>. Consultado el 10 de septiembre de 2021.
- [2] Carpenter, Z. (2019) The Toxic Consequences of America's Plastics Boom. The Nation. Recuperado de: <https://www.thenation.com/article/archive/plastics-pollution-crisis-fracking-petrochemicals/>. Consultado el 31 de enero de 2021.
- [3] Fallon, S. (2018) Pipelines and plastic: How fracking makes plastic production cheaper than ever. Northjersey. Recuperado de: <https://www.northjersey.com/story/news/environment/2018/10/13/fracking-makes-plastic-production-cheaper-than-ever/1538153002/>. Consultado el 31 de enero de 2021.
- [4] Marivit, E. (2019) Panamá recicla el 5% de sus desechos; un país sin economía circular. La Prensa. Recuperado de: [https://www.prensa.com/economia/Residuos-Reciclaje-Economia\\_Circular\\_0\\_5409959004.html](https://www.prensa.com/economia/Residuos-Reciclaje-Economia_Circular_0_5409959004.html). Consultado el 30 de enero de 2021.
- [5] Pennington J. (2016). Every minute, one garbage truck of plastic is dumped into our oceans. This has to stop. Recuperado de: <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/every-minute-one-garbage-truck-of-plastic-is-dumped-into-our-oceans/>. Consultado el 31 de enero de 2021.
- [6] Landau, M. (2020). Abordando la gestión de los desechos sólidos y material reciclado. Café científico SENACYT, 7-21
- [7] James, W. (2020) Bioplastics market to explore excellent growth in future. StartupNG. Recuperado de: <https://startupng.com.ng/energy/348327/bioplastics-market-to-explore-excellent-growth-in-future/>. Consultado el 31 de enero de 2021.
- [8] Cantos, E (2018) New market data: The positive trend for the bioplastics industry remains stable. European Bioplastics. Recuperado de: <https://www.european-bioplastics.org/new-market-data-the-positive-trend-for-the-bioplastics-industry-remains-stable/>. Consultado el 31 de enero de 2021.
- [9] Dawande R. (2018) Bioplastics Market by Type (Biodegradable Plastic and Non-biodegradable Plastic) and Application (Rigid Packaging, Flexible Packaging, Textile, Agriculture & Horticulture, Consumer Good, Automotive, Electronic, Building & Construction, and Others) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2018-2024. Allied Market Research. Recuperado de: <https://www.alliedmarketresearch.com/bioplastics-market>. Consultado el 13 de septiembre de 2020.
- [10] Martin, O., & Avérous, L. (2001). Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. *Polymer*, 42(14), 6209-6219.
- [11] Brunning, A. (2019). The chemistry of biodegradable plastics [Infografía]. Recuperado de: <https://www.compoundchem.com/2019/06/26/biodegradable-plastics/>. Consultado del 13 de septiembre de 2020.
- [12] Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) (2019) Cierre de año agrícola 2018-2019. Pp 5-16.
- [13] Ezeoha, S. L., & Ezenwanne, J. N. (2013). Production of biodegradable plastic packaging film from cassava starch. *IOSR Journal of Engineering*, 3(10), 14-20.
- [14] Mali, S., Grossmann, M. V. E., Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2002). Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 50(4), 379-386.
- [15] Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista De Iniciación Científica*, 4, 28-32. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1815>.