

María José Valarezo Ulloa, María Gabriela Punín Burneo

## Alternativas de desarrollo sostenible: polímeros a partir de desechos orgánicos

**RESUMEN:** En la presente investigación se ha elaborado un biopolímero resistente, flexible y elástico, con características similares a las de un plástico, a partir de materiales orgánicos de desecho como lo son las cáscaras internas de la corteza de yuca (*Manihot esculenta*) y el bagazo de banano (*Musa paradisiaca*). Se utilizaron como plastificantes agua y glicerina, los cuales le brindaron plasticidad y elasticidad al material; y como modificador químico ácido acético, agente que modifica su carácter hidrofílico. El bagazo de banano fue tratado con hidróxido de sodio para la obtención de fibras, después de la eliminación de lignina. El biopolímero obtenido está constituido de 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético. Presentó una densidad de 6,44 g/cm<sup>3</sup>, 0,0 mm de penetración y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua. El porcentaje óptimo de fibra añadido fue de 40%p. El material elaborado, brinda una alternativa ecológica para la elaboración de utensilios de uso diario y artículos decorativos.


**PALABRAS CLAVE:** Almidón; Banano; Biopolímeros; Cortezas; Desechos; Fibra; Yuca.

## Sustainable development alternatives: polymers from organic waste

**ABSTRACT:** In the present investigation, a resistant, flexible and elastic biopolymer from waste organic materials such as the inner shells of cassava bark (*Manihot esculenta*) and banana bagasse (*Paradise muse*) with similar characteristics to plastics, has been developed. Water and glycerin were used as plasticizers, which provided plasticity and elasticity to the material, and acetic acid as chemical modifier. The banana bagasse was treated with sodium hydroxide to obtain fibers, after lignin removal. The biopolymer obtained consists of 19.36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid. It had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm penetration and 25.3% weight gain by water absorption. The optimal percentage of fiber added was 40%w. The biopolymer provides an ecological alternative for the elaboration of everyday utensils and decorative items.

**KEYWORDS:** Banana; Bark; Biopolymers; Cassava; Fiber; Starch; Waste.

---

► **María José Valarezo Ulloa**, Universidad Nacional de Loja, Ecuador, **María Gabriela Punín Burneo**, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. **Autor de correspondencia:** (✉) [maria.jose.valarezo@unl.edu.ec](mailto:maria.jose.valarezo@unl.edu.ec) —  <http://orcid.org/0000-0002-7998-9100>.

## Introducción

En la actualidad, el mundo se ve envuelto en la creciente necesidad de desarrollar nuevos materiales que sustituyan a aquellos derivados del petróleo, como son los plásticos (Eriksen et al. 2018),(Huang et al. 2017),(Septianto y Lee 2019). Estos materiales, a pesar de ser herramientas muy útiles en las diferentes actividades de la población, se han convertido en focos de contaminación (Waring, Harris, y Mitchell 2018), al generar enormes cantidades de desechos, constituyendo un grave problema ambiental (SEO BirdLife y Ecoembes 2019),(Kühn et al. 2019),(Cordier y Uehara 2019). La acumulación de este tipo de materiales radica, en su uso excesivo, mal manejo de sus desechos (ONU Medio Ambiente 2018),(Barbosa et al. 2019) y que no son biodegradables o presentan procesos complejos para su degradación (Webb et al. 2013),(Singh y Sharma 2008) al presentar una estructura macromolecular altamente estable y muy resistente a las agresiones del medio (Ruimin et al. 2019),(Ragaert, Delva, y Van Geem 2017).

Ante esta realidad, polímeros de fuentes renovables, son una alternativa para la producción de nuevos biomateriales, que presentan un ciclo limpio de producción y reutilización (Telis 2012),(La Rosa 2016),(Valero-Valdivieso, Ortégón, y Uscategui 2013). Polímeros como: celulosa, colágeno, gelatina, elastina, almidón, queratina, silica, quitosano; (Ojogbo, Ogunsona, y Mekonnen 2019); constituyen en la actualidad potenciales fuentes de materias prima (Shankar y Rhim 2018),(Institute for Bioplastics and Biocomposites 2016). Dentro de este grupo el uso del almidón, un tipo de polisacárido constituido por unidades de *D*-glucosa (Zhang et al. 2014),(Alcázar-Alay y Meireles 2015),(Rutenberg y Solarek 1984), obtenido del maíz, papa, yuca, papa china y cereales; ha llegado al mercado, para la generación de biomateriales de uso diario, medicina y materiales de construcción (Janarthanan, Veeramachineni, y Loh 2016),(Alcázar-Alay y Meireles 2015),(Abolibda 2015).

Sin embargo, el potencial desarrollo de los biomateriales, no debería partir de fuentes renovables que compitan con la alimentación o subsistencia de la población, sino que, a partir de los desechos que estos generan, se pueda obtener productos con un valor agregado y que presenten las características para competir con los plásticos en el mercado actual.

En Ecuador, existen muchos materiales residuales de la agricultura que se destruyen sin ser utilizados, o se utilizan de una forma poco económica (Vroman

y Tighzert 2009)(Peñarreta 2008), y pueden ser empleados como materia prima para la obtención de almidón en la elaboración de nuevos productos biodegradables.

En nuestro país, la yuca se considera un producto fundamental para la seguridad alimentaria (Velasategui 1993),(Velasategui 1993). Además de utilizarse para el consumo humano, se utiliza como materia prima en las industrias locales como textiles, balanceados y cartoneras (Aristizábal y Sánchez 2007). En la región Sur del país, en los valles bajos de la sierra, el cultivo de yuca es tradicional, por lo que la obtención de subproductos, como las cortezas, se pueden obtener fácilmente (Muñoz 2017) (Peñarreta 2008). En cuanto a la producción de banano, nuestro país es líder a nivel mundial por más de 40 años (Rodríguez 2009). La mayor parte de la superficie de cultivo de banano está distribuida en el litoral ecuatoriano (zona costera), sin embargo, cabe mencionar que, en los valles cálidos de la Sierra (CFN 2017), existe una mayor cantidad de cultivos asociados a este tipo de plantación (AGROCALIDAD 2013). En provincia de Loja, gracias a las bondades del clima y las propiedades de sus suelos, ha permitido alcanzar altos niveles de productividad (Gonzabay 1385).

Tomando en cuenta la abundante producción que estos dos productos presentan en el Ecuador y la cantidad de desechos que estos generan, la obtención de subproductos a partir de sus cortezas es una idea revolucionaria, que puede llegar a sustituir productos de uso masivo en mercado. La obtención de fibra de plátano, de buena calidad se encuentra presente en nuestro país (Velasateguí 2017), mientras que la obtención de almidón de cáscaras de tubérculos, es una idea nueva, que podría traer grandes beneficios ambientales y económicos.

A partir de lo anteriormente mencionado y juntando ambas perspectivas, la presente investigación tuvo como fin, elaborar un biopolímero de almidón obtenido de desechos de cortezas de yuca; y fibras naturales obtenidas a partir de desechos de cortezas del banano, que presentó características similares a las de un plástico sintético que puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de artículos de decoración y uso diario, reduciendo de esta forma la contaminación ambiental.

## **Materiales y Métodos**

Las cortezas de yuca fueron recolectadas de tres zonas contiguas a la ciudad de Loja (Ecuador), específicamente del Cantón de Catamayo, de la Parroquia Malacatos y del Cantón de Zamora, de las cuales se extrajo la harina para obtener su porcentaje de almidón. Las cascaras de banano fueron recolectadas del Mercado Mayorista de la ciudad de Loja. La glicerina y ácido acético fueron adquiridos en Farmaalemana C.A. El hidróxido de sodio fue adquirido en Sigma-Aldrich.

### **– Obtención del almidón**

El almidón fue extraído de las cáscaras internas de la yuca. Se recolectó 12kg de cortezas de yuca, obteniendo 6kg de almidón. La obtención se realizó a nivel de laboratorio mediante un proceso manual, el cual, es comúnmente utilizado por las familias que se dedican en forma artesanal a la obtención de almidón de yuca, siguiendo el siguiente proceso: Selección de las cortezas, lavado, licuado o rayado, filtración, sedimentación, decantación y finalmente secado y tamizado. El almidón obtenido se caracterizó con base a su porcentaje de humedad, impurezas, apariencia en seco y porcentaje de almidón.

### **– Obtención de la fibra natural**

El bagazo de banano fue seleccionado y lavado, previo al tratamiento alcalino. Posteriormente se sumergió en agua durante 10 horas, y la capa ultraperiférica de color marrón y capa media de color verde, se desecharon para obtener la corteza interna blanca. Luego se trituró mediante un molino de bolas.

Después, 100gr de bagazo de banano fueron tratados con una solución de hidróxido de sodio 1N en 1000 ml de agua bajo ebullición durante 4 horas para eliminar la lignina presente en la fibra y mejorar su capacidad de adherencia al biopolímero. Esta concentración fue establecida de acuerdo con investigaciones previas sobre extracción de lignina en fibras naturales (Burneo 2012).

Finalmente, las muestras se molieron con un tamiz de 1 mm en una amoladora de martillo para lograr un mejor apariencia, textura y contacto entre la fibra y la matriz polimérica.

### **– Síntesis del biopolímero**

La síntesis de los biopolímeros de almidón y fibra natural se dividió en dos fases. La *primera fase* conllevó la polimerización del almidón obtenido a partir de las

cortezas de yuca, a través del siguiente proceso: Se diseñaron tres matrices en las proporciones [almidón]:[agua] [1:2], [1:3] y [1:6], a partir de la mezcla de las cuatro variables independientes: almidón (a), glicerina (b), agua (c), y ácido acético (d); todas las variables con tres niveles: alto, medio y bajo (Valarezo 2012). Las proporciones de mezclas se muestran en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Nivel de las variables para la Matriz I [almidón:agua] [1:2].

| Niveles   | Almidón | Agua | Ácido acético | Glicerina |
|-----------|---------|------|---------------|-----------|
| Alto (g)  | 41      | 72   | 0.5           | 7.7       |
| Medio (g) | 31      | 62   | 0.3           | 6.7       |
| Bajo (g)  | 21      | 52   | 0.1           | 5.7       |

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Tabla 2. Nivel de las variables para la Matriz II [almidón:agua] [1:3].

| Niveles   | Almidón | Agua | Ácido acético | Glicerina |
|-----------|---------|------|---------------|-----------|
| Alto (g)  | 33      | 79   | 0.6           | 8.6       |
| Medio (g) | 23      | 69   | 0.4           | 7.6       |
| Bajo (g)  | 13      | 59   | 0.2           | 6.6       |

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Tabla 3. Nivel de las variables para la Matriz III [almidón:agua] [1:6].

| Niveles   | Almidón | Agua | Ácido acético | Glicerina |
|-----------|---------|------|---------------|-----------|
| Alto (g)  | 23      | 88   | 0.7           | 9.5       |
| Medio (g) | 13      | 78   | 0.5           | 8.5       |
| Bajo (g)  | 3       | 68   | 0.3           | 7.5       |

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Se realizó una réplica por cada ensayo y se estableció el rango óptimo de temperatura dentro del cual se realizó el mejor proceso de polimerización. En la Figura 1 se muestra el proceso de obtención del biopolímero de cortezas de yuca.

Figura 1. Proceso de elaboración de los biopolímeros de almidón de corteza de yuca



**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Una vez que el mejor tratamiento fue establecido, la **segunda fase** consistió en la adición de la fibra natural, la misma que se llevó a cabo en las proporciones que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Nivel de fibra empleados en la elaboración de los biopolímeros

| Fibra (%) | Polímero (%) |
|-----------|--------------|
| 90        | 10           |
| 80        | 20           |
| 70        | 30           |
| 60        | 40           |
| 50        | 50           |
| 40        | 60           |
| 30        | 70           |
| 20        | 80           |
| 10        | 90           |

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Una vez que los copolímeros fueron obtenidos, se lavaron mediante una solución alcalina de hidróxido de sodio [0.1N] y se secaron a temperatura ambiente. En la Figura 2 se muestra el proceso de obtención del biopolímero de cortezas de yuca y fibra natural.

Figura 2. Proceso de elaboración de los biopolímeros de almidón de corteza de yuca y fibra natural



**Fuente:** Process and Extraction of Natural Fibers in the Artistic

**Elaboración:** Las autoras

### – Caracterización del biopolímero

Se realizaron 486 tratamientos empleando las 81 combinaciones del diseño experimental con dos repeticiones y tres matrices para cada una. A todos se les realizó tres análisis iniciales: Capacidad de adaptación al molde, uniformidad y olor. De estos tres análisis se seleccionaron 80 ensayos, los cuales se observaron durante el tiempo de secado. De las muestras secas se escogieron 40 tratamientos que presentaron una calidad tipo A (óptima) y se realizó análisis de penetración, densidad y absorción de agua. En base a estos resultados se seleccionó el mejor tratamiento. Las propiedades analizadas los biopolímeros más fibra fueron los mismos que los realizados a los biopolímeros puros, lo que permitió una comparación entre la calidad de los dos productos.

Los análisis de humedad se realizaron con base a la NORMA ASTM D6980-09 Standard Test Methods for Determine Moisture in Plastics, los análisis de densidad se elaboraron según la NORMA ASTM D792-08 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by

displacement, los análisis de absorción de agua, se llevaron a cabo siguiendo los parámetros de la NORMA ASTM D570 – 98 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics y los análisis de penetración con base a la NORMA ASTM F1306-02 Standard Test Method for slow penetration resistance on flexible plastic barrier laminate.

## Resultados y Discusión

### – Análisis del almidón

Se recolectaron cortezas de yuca de tres zonas contiguas a la ciudad de Loja (Ecuador), específicamente del Cantón de Catamayo, la Parroquia Malacatos y del Cantón de Zamora. En la Tabla 5 se muestran los porcentajes de almidón de cada una de las materias primas procedentes de los tres sitios de recolección

Tabla 5. Porcentaje de almidón de las muestras de harina de corteza de yuca obtenidas de las tres zonas de recolección

| Lugar de recolección | Porcentaje (%) |
|----------------------|----------------|
| Catamayo             | 65.59          |
| Zamora               | 66.71          |
| Malacatos            | 65.85          |

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

No existió varianza significativa entre las muestras de las tres zonas de recolección, la varianza obtenida fue de  $\sigma^2 = 0.34$ . Por lo que se decidió trabajar con la materia prima de Malacatos debido a la facilidad de obtención del desecho en los restaurantes locales. El proceso de almidón de las cortezas de yuca se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Proceso de obtención del almidón de las cortezas de yuca



**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Al almidón obtenido se le realizaron cuatro análisis de laboratorio para garantizar que sus propiedades no afecten la calidad del producto final, obteniéndose los resultados citados en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros utilizados para caracterizar al almidón de la corteza de yuca de Malacatos.

| Caracterización de almidón | Resultados |
|----------------------------|------------|
| Humedad (%)                | 14.17      |
| Apariencia en seco         | A          |
| Impurezas                  | A          |
| Porcentaje de almidón (%)  | 65.85      |

\*A=Color blanco, sin ninguna impureza

**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

### – Análisis de la fibra

Las fibras vegetales de banano obtenidas estuvieron compuestas principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, son resistente a los álcalis. Se ha reportado que estas fibras son resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen (Burneo 2012). Por lo que la concentración de hidróxido de sodio [1 N] fue la adecuada para evitar el debilitamiento o destrucción de las mismas.

### – Análisis del biopolímero de almidón y fibra natural

De acuerdo con los requerimientos que debe presentar el material para ser utilizado como materia prima para la elaboración de artículos de decoración y uso doméstico, se analizaron siete propiedades o variables dependientes al biopolímero obtenido. El análisis se dividió en dos etapas: Durante la primera etapa los biopolímeros obtenidos se analizaron con base a su olor, uniformidad, adaptabilidad al molde y secado; y únicamente las mezclas que presentaron un resultado óptimo, se caracterizaron para conocer parámetros como su densidad, penetración y absorción de agua. Esta selección se llevó a cabo, debido a que, durante el proceso de polimerización, algunas proporciones empleadas no culminaron el proceso, además de presentar una apariencia rugosa y heterogénea.

Todas las 80 muestras trabajadas en la Matriz I, con la relación almidón:agua [1:2], fueron inoloras, no presentando ningún olor desagradable, lo que demuestra que los niveles utilizados en la matriz eran adecuados desde el punto de vista estético. Respecto a la apariencia solamente 5 tratamientos (6%) terminaron el proceso de polimerización, y la gran mayoría no lo hizo porque la cantidad de plastificante (agua y glicerina) no resultó suficiente para hidratar todos los gránulos de almidón, por lo que estos permanecieron secos en forma de grumos. Como la orientación del producto final es a la utilización del biopolímero en la confección de artículos de decoración, se analizó la capacidad de adaptación al molde, encontrándose que 8 tratamientos (10%) se adaptaban completamente al molde. Solamente 4 tratamientos (5%) alcanzaron una calificación de A en las tres variables en estudio.

Al aumentar la relación almidón:agua [1:3] (Matriz II), se obtuvieron mejores resultados, ya que de las 80 muestras analizadas igualmente todas fueron inoloras, 38 (47%) completaron su proceso de polimerización obteniendo un

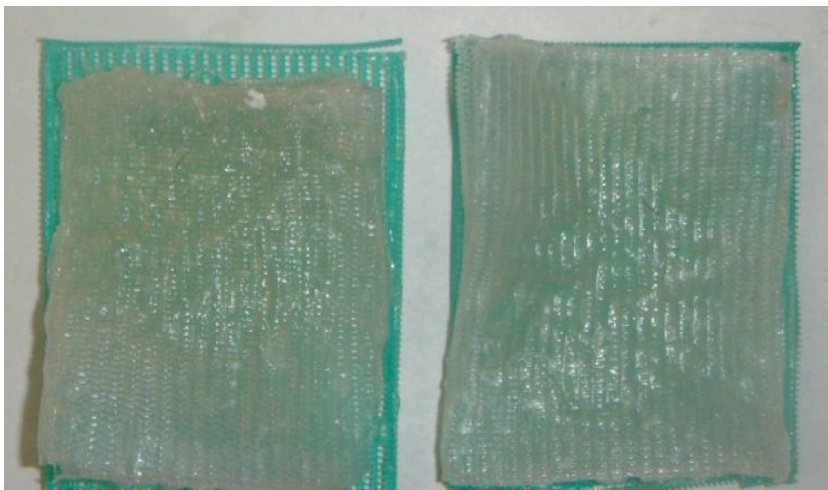
resultado uniforme y 42 (52%) se adaptaron fácilmente a los moldes. Se obtuvieron mejores resultados debido a que la cantidad de agua en relación al almidón aumentó en un 10%, por lo que todos los gránulos de almidón se hidrolizaron. Sin embargo, casi la mitad de las muestras no culminó correctamente su proceso de polimerización y no se adaptó correctamente al molde debido a que la cantidad de almidón aún era excesiva y existió una mayor resistencia al mezclado debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que generó una mayor rigidez, volviéndolo muy viscoso (Jiliana, Catalina, y Marco 2007),(Ruiz Avilés, Montoya Mesa, y Paniagua Villa 2009). Considerando los resultados de las tres propiedades, 31 tratamientos (38%) presentaron características óptimas para la elaboración de artículos de decoración.

Los resultados de la Matriz III [1:6], mejoraron casi en un 15% en relación a la Matriz 2, esto se debe a que la cantidad de agua adicionada a la mezcla es la adecuada para que los gránulos de almidón se hidrolicen correctamente y el proceso de polimerización culmine sin generar una alta viscosidad. Sin embargo, las muestras que presentaron un porcentaje de agua mayor al 85%, permanecieron en estado de gel, debido a que superaban los límites permitidos de plastificante en la mezcla que es alrededor de 70%-75%

(Jiliana et al. 2007)(Eugene 2002).

Con estas consideraciones el mejor tratamiento es el 34 que consistía en la mezcla de (19,36%) de almidón, (6,31%) de glicerina, (74,08%) de agua y (0,25%) de ácido acético, que tuvo una penetración de 0,0mm y un porcentaje de aumento de peso por absorción de agua de 25,30%, siendo el único tratamiento que cumple con los rangos establecidos en ambas propiedades. El mejor tratamiento se muestra en la Figura 4. Después del secado, la contracción fue inferior a 1 mm, y 10,01% de humedad.

Figura 4. Tratamiento que presentó las mejores condiciones para la elaboración de artículos de decoración, con una composición de 19,36 de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético.



**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

La mezcla óptima entre el biopolímero y la fibra natural fue en una proporción [60:40] [biopolímero]:[fibra natural]. El tratamiento presentó una densidad de  $6.51 \text{ g/cm}^3$ , penetración de 0.0 mm y un porcentaje de absorción de agua del 20.82%. La temperatura ideal para agregar la fibra a la matriz polimérica fue entre 50 y 54 ° C, porque el proceso de gelatinización empieza dentro de este rango de temperaturas, por lo que la fibra tiende a aparearse perfectamente con la matriz. Durante el proceso de secado, la presencia de la fibra evita que las muestras de biopolímero se contraigan y ayuda a mantener su forma. Más del 80% de fibra en la mezcla, el proceso no se lleva a cabo y la fibra tiende a quemarse. En la Figura 5 se muestra el mejor tratamiento obtenido de biopolímero y fibra natural. En la Figura 6 se muestran los artículos de decoración diseñados con el biopolímero elaborado.

Figura 5. Tratamiento que presentó las mejores condiciones para la elaboración de artículos de decoración, con una proporción [biopolímero]:[fibra] [60:40].



**Fuente:** Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de cortezas de yuca (*Manihot sculenta*)

**Elaboración:** Las autoras

Figura 6. Materiales elaborados con el biopolímero de cortezas de yuca y fibra de banano



**Fuente:** Process and Extraction of Natural Fibers in the Artistic

**Elaboración:** Las autoras

## Conclusión

En base a los rangos establecidos por las NORMAS ASTM F1306 (1998) y D570 (2002), el tratamiento con el cual se obtuvo el biopolímero de mejor calidad,

estuvo compuesto de: 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético. Presentando una densidad de 6,44 gr/cm<sup>3</sup>, 0,0mm de penetración y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua. La mezcla óptima entre el biopolímero y la fibra natural fue en una proporción [60:40] [biopolímero]:[fibra natural].

Después de la finalización de esta investigación y el análisis de las diferentes propiedades podemos concluir que el biopolímero puro es adecuado para la elaboración de artículos decorativos, y la adición de fibra natural mejora su calidad y resistencia.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tienen ningún posible conflicto de intereses. **Aprobación del comité de ética y consentimiento informado:** No es aplicable a este estudio: los autores no realizaron estudios en animales o humanos. **Contribución de cada autor:** M.G.P.B. y M.J.V.U. confirman que han conceptualizado, desarrollado las ideas y escrito el trabajo en coautoría y han leído y aprobado el manuscrito final para su publicación. **Nota editorial:** este artículo previamente fue publicado en inglés como: Ulloa, M.J.V.; and Punín Burneo, M.G. (2012). «Development of starch biopolymers from waste organic materials (cassava peel) and natural fiber (agave)». *Journal of Materials Sciences and Engineering A 2*, no. 11, pp. 728-736. Para consultas sobre este artículo debe dirigirse a: (✉) maria.jose.valarezo@unl.edu.ec.

#### Referencias

- Abolibda, Tariq .. Z. 2015. "Starch Based Bio-Plastics".
- AGROCALIDAD. 2013. "Manual de Aplicabilidad de Buenas practicas Agrícolas de banano". *Agrocalidad*, 1-95.
- Alcázar-Alay, Sylvia Carolina y Maria Angela Almeida Meireles. 2015. "Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources". *Food Science and Technology* 35(2):215-36.
- Aristizábal, Johanna y Teresa Sánchez. 2007. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Vol. 163.
- Barbosa, J., H. Albano, C. P. Silva, y P. Teixeira. 2019. "Microbiological contamination of reusable plastic bags for food transportation". *Food Control* 99(December 2018):158-63.
- Burneo, María Gabriela Punín. 2012. "Process and Extraction of Natural Fibers in the Artistic Application". *Journal of Materials Science and Engineering* 2(2):238-47.
- CFN. 2017. "Banano Y Plátanos". *Subgerencia de Análisis e Información* 1-21.
- Cordier, Mateo y Takuro Uehara. 2019. "How much innovation is needed to protect the ocean from plastic contamination?" *Science of the Total Environment* 670:789-99.
- Eriksen, M. K., K. Pivnenko, M. E. Olsson, y T. F. Astrup. 2018. "Contamination in plastic recycling: Influence of metals on the quality of reprocessed plastic". *Waste Management* 79:595-606.
- Eugene, Stevens. 2002. *Green plastics: An introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*.
- Gonzabay, Roberto. 1385. "Cultivo del banano en el Ecuador". *Le Bananier, Champion J.* 263.
- Huang, Xiangning, Stephane Andry, Jessica Yaputri, Devin Kelly, David A. Ladner, y Andrew J. Whelton. 2017. "Crude oil contamination of plastic and copper drinking water pipes". *Journal of Hazardous Materials* 339:385-94.

- Institute for Bioplastics and Biocomposites. 2016. *Biopolymers facts and statistics 2015*. 3a ed. Germany: Institute for Bioplastics and Biocomposites.
- Janarthanan, P., A. K. Veeramachineni, y X. J. Loh. 2016. "Biodegradable Polysaccharides". *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* 1–12.
- Jiliana, Meneses, Corrales Catalina, y Valencia Marco. 2007. "Síntesis y Caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Revista EIA* 8(1794–1237):57–67.
- Kühn, Susanne, Jan A. van Franeker, Anastasia M. O'Donoghue, Ailynn Swiers, Marrit Starckenburg, Bernike van Werven, Edwin Foekema, Enya Hermsen, Marion Egelkraut-Holtus, y Han Lindeboom. 2019. "Details of plastic ingestion and fibre contamination in North Sea fishes". *Environmental Pollution* (xxxx):113569.
- NORMA ASTM. Standard for determining moisture in plastics. ASTM 6980. United States.2009.
- NORMA ASTM Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement. ASTM D-792. United States.2008.
- NORMA ASTM Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D570. United States .1998.
- NORMA ASTM Standard Test Method for Slow penetration resistance on plastics. ASTM F1306. United States. 2008.
- Muñoz, Xavier. 2017. "La yuca en el Ecuador: su origen y diversidad genética". *El Ministerio del Agro*, 1–18.
- Ojogbo, Ewomazino, Emmanuel O. Ogunsona, y Tizazu H. Mekonnen. 2019. "Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials". *Materials Today Sustainability* 100028.
- ONU Medio Ambiente. 2018. "EL ESTADO DE LOS PLÁSTICOS Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018". 20.
- Peñarreta, Oscar. 2008. "Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos A review of using organic acids to chemically modify starch". *Revista Ingeniería E Investigación* 28(3):47–52.
- Ragaert, Kim, Laurens Delva, y Kevin Van Geem. 2017. "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste". *Waste Management* 69:24–58.
- Rodríguez, Andrea. 2009. "Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de banano (Musa sp.), variedad Gran enano Cavendish, en Quevedo, provincia de Los Ríos". 63.
- La Rosa, A. D. 2016. *Life cycle assessment of biopolymers*. Elsevier Ltd.
- Ruimin, Qi, Davey L. Jones, Li Zhen, Liu Qin, y Yan Changrong. 2019. "Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review". *Science of The Total Environment* 134722.
- Ruiz Avilés, Gladys, Carolina Montoya Mesa, y Marco Paniagua Villa. 2009. "Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca." *Revista EIA* (12):67–78.
- RUTENBERG, MORTON W. y DANIEL SOLAREK. 1984. "Starch Derivatives: Production and Uses". *Starch: Chemistry and Technology* 311–88.
- SEO BirdLife y Ecoembes. 2019. "Impacto del abandono del plástico en la naturaleza". 24.
- Septianto, Felix y Michael S. W. Lee. 2019. "Emotional responses to plastic waste: Matching image and message framing in encouraging consumers to reduce plastic consumption". *Australasian Marketing Journal* (xxxx):1–12.
- Shankar, Shiv y Jong-Whan Rhim. 2018. *Bionanocomposite Films for Food Packaging Applications*. Elsevier.
- Singh, Baljit y Nisha Sharma. 2008. "Mechanistic implications of plastic degradation". *Polymer Degradation and Stability* 93(3):561–84.
- Telis, Vânia Regina Nicoletti. 2012. "An introduction to biopolymer applications in food engineering". *Biopolymer Engineering in Food Processing* 1–15.

- Valarezo, María José. 2012. "La Universidad Católica de Loja Desarrollo de biolímeros a partir de almidón de corteza de yuca". Universidad Técnica Particular de Loja.
- Valero-Valdivieso, Manuel Fernando, Yamileth Ortégón, y Yomaira Uscategui. 2013. "Biopolímeros: Avances y Perspectivas". *Dyna* 181:171-80.
- Velasteguí, Ana. 2017. "Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables". *Dominio de las Ciencias* 3(2):506-25.
- Velasteguí, Ramiro. 1993. *El Cultivo de yuca en el Ecuador*. 1a ed. editado por INIAP. Quito.
- Vroman, Isabelle y Lan Tighzert. 2009. "Biodegradable polymers". *Materials* 2(2):307-44.
- Waring, R. H., R. M. Harris, y S. C. Mitchell. 2018. "Plastic contamination of the food chain: A threat to human health?" *Maturitas* 115(June):64-68.
- Webb, Hayden K., Jaimys Arnott, Russell J. Crawford, y Elena P. Ivanova. 2013. "Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate)". *Polymers* 5(1):1-18.
- Zhang, Zheng, Ophir Ortiz, Ritu Goyal, y Joachim Kohn. 2014. *Biodegradable Polymers*. Elsevier Inc.

### Información sobre los autores

► **María José Valarezo Ulloa** es Docente y Directora del Laboratorio de Análisis Químico de de la Universidad Nacional de Loja. Doctora en Ingeniería de Materiales-Instituto por el Politécnico Nacional IPN-México. Sus áreas investigación se centran en los biomateriales poliméricos para la medicina, construcción, industria y agricultura. Ha generado varias patentes de invención en biopolímeros, registradas en el IEPI. Ganadora del 1er Premio a la Mejor Invención Innovadora otorgada por el CEDIA, Expositora en TEDx-Ecuador y Ganadora del Gold Medal Award - Taiwan Innotech Expo 2022. Ha participado en congresos nacionales e internacionales como expositora en los temas de polimeros y biopolímeros para la industria y la dosificación de fármacos. **Contacto:** Laboratorio de Análisis Químico. Universidad Nacional de Loja, Ecuador. — (✉): maria.jose.valarezo@unl.edu.ec — iD <https://orcid.org/0000-0002-7998-9100>.

► **María Gabriela Punín** es Docente en el Departamento de Filosofía, Arte y Humanidades y Directora de la Maestría en Pedagogía de las Artes de la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Ph.D en Arte y Diseño por la Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinadora del grupo de investigación Arte y Entorno. Ha sido parte de más de 30 exposiciones artísticas en Mexico, Chile, Perú, Londres, Ecuador. Investigadora en proyectos de nuevos materiales y bioarte. Generadora de Patentes de Invención en Biopolimero - IEPI. Trabajó en el Centro de Arte Contemporáneo de Quito. **Contacto:** Departamento de Filosofía, Artes y Humanidades, Universidad Técnica Particular de Loja, Calle Marcelino Champagnat s/n, 110107 San Cayetano Alto, Loja, Ecuador. — (✉): mgpuninx@utpl.edu.ec — iD <https://orcid.org/0000-0002-4375-9581>.

### Como citar este artículo

Valarezo Ulloa, María José y Punín Burneo, María Gabriela (2022). «Alternativas de desarrollo sostenible: polímeros a partir de desechos orgánicos». *Analysis* 34, no. 4: pp. 1-16.