

## ARTÍCULOS

# Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera

*A second life for waste from the mezcal industry*

### Grecia Paniagua Pérez

ORCID: [0000-0002-0465-0006/grepapeo5@hotmail.com](https://orcid.org/0000-0002-0465-0006/grepapeo5@hotmail.com)

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,  
Instituto Tecnológico de Morelia

### Yanely Lizeth Sarabia Sereno

ORCID: [0000-0002-8767-5187](https://orcid.org/0000-0002-8767-5187)

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,  
Instituto Tecnológico de Morelia

### Yadira Belmonte Izquierdo

CORREO: [yadira.bi@morelia.tecnm.mx](mailto:yadira.bi@morelia.tecnm.mx)

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,  
Instituto Tecnológico de Morelia

## RESUMEN

Este artículo propone una metodología para elaborar un bioplástico a partir de residuos de la producción de mezcal que utiliza agave *Angustifolia*. Esta industria tiene efectos negativos en el ambiente por el mal manejo de los residuos de bagazo (122 696 toneladas) y vinaza (14 a 27 millones de litros). El bagazo del agave, cuya composición química contiene 43% de celulosa, 19% de hemicelulosa y 15% de lignina, puede ser aprovechado y utilizado como sustrato de microorganismos si se somete a un tratamiento con otra clase de enzimas para producir ácido poliláctico, el cual se evaluará para saber si es un biopolímero óptimo para usar en el área médica, en particular en el desarrollo de prótesis u otros materiales clínicos.

## PALABRAS CLAVE

celulosa, hemicelulosa, bioplástico, mezcal, enzimas

## ABSTRACT

This article proposes a method to elaborate a bioplastic from mezcal production residues using agave *Angustifolia*. This industry has a negative impact on the environment due to the poor management of bagasse (122 696 tons) and vinasse (14 to 27 million liters). Agave bagasse, whose chemical composition contains 43% cellulose, 19% hemicellulose, and 15% lignin, can be used as a substrate for microorganisms by subjecting it to treatment with another class of enzymes to produce polylactic acid. This will be evaluated to see if it is an optimal biopolymer for use in the medical area, developing prostheses or other clinical materials.

## KEY WORDS

cellulose, hemicellulose, bioplastic, mezcal, enzymes

## Introducción

La idea de elaborar un producto utilizando los residuos de agave mezcalero nace del análisis respecto a la cantidad de mezcal que se produce a nivel nacional (aproximadamente 7.4 millones de litros en 2019) y, por consecuencia, los residuos que se generan de igual magnitud. Por ello, se propone utilizar el residuo sólido de la industria llamado *bagazo* para desarrollar un bioplástico o biopolímero lo suficientemente resistente y óptimo para emplearlo como materia prima en la industria médica, con el fin de reducir contaminantes en el proceso de elaboración de prótesis.

México es uno de los principales países productores de bebidas alcohólicas, como el tequila y el mezcal. En el año 2019 tuvo una producción total de más de 7.4 millones de litros de mezcal y de 351.7 millones de litros de tequila (Sánchez, 2020). El estado de Michoacán ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la producción de dichas bebidas, con una cantidad de 800 000 y 300 000 litros, respectivamente (Delegación de la Sader Michoacán, 2018).

Una vez destilado el mezcal quedan residuos líquidos y sólidos, llamados vinaza y bagazo. Los segundos son los de principal interés para nuestro trabajo, ya que su conformación consiste principalmente en lignina, celulosa y hemicelulosa, por lo que se les conoce también como residuos lignocelulósicos. Este material resulta un polímero de interés industrial porque es biodegradable y un recurso renovable (Hon, 2000; Íñiguez et al., 2007; Reveles Ramos et al., 2012; Stewart et al., 1997). Si no se les da un manejo adecuado, estos residuos podrían acumularse de forma desmedida y ocasionar contaminación ambiental, ya que comienzan a cambiar de color, se ablandan y en la superficie se presenta invasión de hongos, levaduras, bacterias y fauna nociva como cucarachas, larvas de mosca y otros insectos (Martínez-Palacios et al., 2015).

Ya se han realizado estudios sobre la obtención de productos derivados de estos residuos, por ejemplo, combustibles y algunos bioplásticos derivados de la transformación de la biomasa proveniente del bagazo por diferentes tratamientos, partiendo tanto de agave de la industria tequilera o mezcalera como de alguna otra fuente de material celulítico.

Por ejemplo, los resultados de la investigación de García Vargas (2017) mostraron que la proporción óptima para obtener un bioplástico con la suficiente elasticidad y tracción debe ser 60% de bagazo de caña y 50% de caucho natural.

Por su parte, el objetivo general del trabajo de Ortega Cahui (2019) fue obtener un bioplástico a escala de laboratorio a partir de paja y residuos de arroz partido. Los resultados fueron las proporciones adecuadas para el bioplástico.

Asimismo, la finalidad de la investigación de Rodríguez Sepúlveda (2014) fue elaborar y caracterizar biocompuestos basados en fibra del pseudotallo de plátano. Para ello, se trataron las fibras del pseudotallo de plátano con 1% de xilano. En conclusión, la fibra tratada del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de

37.1 MPa. Además, la fibra sin tratar del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de 32.9 MPa.

Por lo tanto, toda la información recabada lleva a la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las condiciones más adecuadas para producir un bioplástico a partir de bagazo de agave mezcalero usando microorganismos?

## Metodología y materiales

### *Materiales y reactivos*

Materiales. Se emplearán diversos tipos de hongos y bacterias:

- *Sclerotinia sclerotiorum* (conocido comúnmente como hongo de podredumbre blanca)
- Agar de dextrosa de papa (PDA Merck, de Darmstadt, Alemania), enriquecido con diferentes concentraciones de  $\text{KHCO}_3$  (Fermont, de Monterrey), como medio de cultivo para la propagación de *S. sclerotiorum*
- *Lactobacillus bulgaricus*
- Agar MRS (10 g/L de proteosa peptona n.º 3, 10 g/L de extracto de carne, 5 g/L de extracto de levadura, 20 g/L de dextrosa, 1 g/L de polisorbato 80, 2 g/L de citrato de amonio, 5 g/L de acetato de sodio, 0.1 g/L de sulfato de magnesio, 0.05 g/L de sulfato de manganeso, 2 g/L de fosfato dipotásico y 15 g/L de agar), como medio de cultivo para la propagación de *L. bulgaricus*

Reactivos:

- NaOH al 10%
- Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

### *Obtención de la materia prima*

Para llevar a cabo la metodología se empleará bagazo de la industria mezcalera, específicamente de la destiladora de mezcal El Cuerdo, de la empresa Ex Hacienda Zacapendo; se obtendrá una cantidad aproximada de 5 kg para realizar los tratamientos necesarios.

### *Mantenimiento y almacenamiento de los microorganismos*

El crecimiento de *Sclerotinia sclerotiorum* en medio de agar se produce en un rango de temperatura de 0 a 35° C (Chupp y Sherf, 1960). El pH de crecimiento de dicho patógeno se produce en un rango de 2.3 a 7.5. Muchos estudios de nutrición estiman que las fuentes de crecimiento de *S. sclerotiorum* se ven favorecidas principalmente por fuentes de carbono y nitrógeno, por ejemplo, de carbohidratos tales como glucosa y fructosa (Sotomayor García, 2011). Los esclerocios se aislarán directamente de cultivo de cebolla, el cual tendrá un tratamiento de

desinfección con hipoclorito de sodio al 3% durante 30 segundos, 1 minuto en alcohol al 70% y 2 minutos en agua destilada estéril (Aguilar-Ulloa et al., 2016).

Para el aislamiento de *L. bulgaricus* se tomarán 10 mL o 10 g del producto; se llevarán a 90 mL de agua peptonada al 1% (P/V) y se procederá a realizar diluciones seriadas, hasta 10<sup>-10</sup>; se harán siembras en superficie en agar MRS que se incubarán por 48 horas a 37 °C en condiciones de microaerofilia (10% CO<sub>2</sub>), y se realizará una identificación morfológica por tinciones de Gram una vez terminado el proceso de incubación (Ramírez Muñoz, 2010).

#### *Determinación de biomasa y pretratamiento*

Para la determinación de biomasa lignocelulósica es necesario que la muestra se encuentre libre de extractos. Las normas refieren el porcentaje de cada compuesto respecto al total de compuestos estructurales. Las sustancias extraíbles con disolventes son principalmente resinas, fenoles y algunos otros, incluidos algunos hidratos de carbono de bajo peso molecular o lignina soluble (Barroso, 2010).

Una vez obtenida la materia prima, se le dará un pretratamiento con NaOH al 10% con el fin de eliminar ceras o resinas y de que sea más fácil de manejar.

#### *Hidrólisis enzimática y fermentación*

Se utilizarán enzimas llamadas celulasas, las cuales se pueden adquirir en la tienda en línea Merck, especializada en la venta de productos químico-biológicos. Las celulasas se encargan de llevar a cabo la hidrólisis enzimática, de la cual se pretende obtener glucosa.

La glucosa será sometida a una fermentación anaeróbica en presencia de diferentes cepas de *Lactobacillus*, como lo es la cepa de *Lactobacillus bulgaricus*. De esta fermentación se obtendrá ácido láctico y, como subproductos, etanol y dióxido de carbono.

Se llevará a cabo una polimerización por policondensación por fusión directa del ácido láctico para la obtención de ácido poliláctico. Esto debido a que "es de gran importancia cuando se desean obtener polímeros de bajo peso molecular, principalmente para aplicaciones médicas, debido a la facilidad del proceso y el bajo costo" (Pinzón et al., 2006).

#### *Caracterización del bioplástico*

Para la caracterización del bioplástico se seguirá el siguiente protocolo:

1. Determinación de biodegradabilidad obtenida. Se considerará la norma ASTM D6400-99, especificación estándar para los plásticos compostables, la cual establece los requisitos que debe cumplir un producto, y la norma ASTM D5338-98, método de ensayo estándar para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, que es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

2. Las pruebas de tensión serán evaluadas de acuerdo con la norma ASTM D638-10.
3. Las pruebas para la reflexión serán evaluadas de acuerdo con la norma ASTM D790-10.
4. Evaluación de resistencia frente a impactos de acuerdo con la norma ASTM D256-10. La resistencia a la compresión es un buen indicador de la capacidad de los diferentes materiales plásticos de soportar cargas a corto plazo. Se mide aplicando una fuerza creciente sobre una probeta cilíndrica o cúbica sujeta entre dos placas mientras se mide la presión y la elongación.
5. La determinación de toxicidad y citotoxicidad se medirá con base en la norma UNE-EN ISO 11348-3, debido a que son dispositivos que permanecen en el interior del cuerpo humano durante un periodo variable (desde varios días hasta 10 o 15 años).
6. Para la determinación de biodegradabilidad del polímero en medio acuoso se seguirán las directrices marcadas por la norma UNE-EN ISO 14852.

### Conclusiones

Con base en la información obtenida de la literatura, es muy viable y acertado el proceso que se plantea para la obtención del plástico a partir del bagazo de agave mezcalero, ya que los microorganismos propuestos son específicos para la degradación de elementos como la lignina y la hemicelulosa. A su vez, éstos proporcionan celulosa, la cual producirá glucosa, que llevará a condiciones específicas de fermentación, con lo que se generará ácido láctico, el cual posteriormente pasará por un proceso de policondensación por polimerización para obtener ácido poliláctico y así llevarlo a tratamiento para moldear y dar el terminado final del bioplástico.

Asegurando las mejores condiciones para cada elemento de la metodología, se obtendrá un bioplástico biodegradable mecánicamente resistente y útil para diversos usos, en este caso se propone fabricar prótesis médicas. Para lograrlo, es necesario elegir las mejores condiciones para cada parte de la metodología, que éstas sean óptimas para el funcionamiento y así se logre experimentalmente de la mejor manera.

En caso de lograr desarrollar lo aquí planteado, se podrá obtener finalmente un bioplástico biodegradable pero asimismo mecánicamente resistente y útil para utilizarlo en la producción de prótesis médicas. El producto tendría un impacto muy importante en el aprovechamiento del bagazo de agave mezcalero y, a su vez, en la reducción del uso de plásticos derivados del petróleo en el ámbito médico.

### Referencias

Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P. y Rivera-Méndez, W. (2016). Identificación y caracterización molecular del hongo causante de la pudrición blanca en *Allium cepa*, en Llano Grande

- de Cartago, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29, 51-56. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i7.2705>
- Barroso Casillas, M. (2010). Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería. [https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf)
- Chupp, C. y Sherf, A. F. (1960). *Vegetable diseases and their control*. The Ronald Press Company.
- Delegación de la Sader Michoacán (2018). *Michoacán ocupa el tercer lugar a nivel nacional en producción de agave*. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/michoacan-ocupa-el-tercer-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-agave?idiom=es>
- García Vargas, C. C. (2017). *Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico* [Tesis de Ingeniería Ambiental]. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3533>
- Hon, D. (2000). Pragmatic approaches to utilization of natural polymers: challenges and opportunities. En E. Frollini, A. Lleao y L. H. C. Mattoso, *Natural polymers and agrofibers based composites* (pp. 1-14). Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Ciências Agrônomicas.
- Íñiguez, G., Fuentes, F., Langue, S., Rowell, R. (2007). Bagazo de agave como materia prima para la fabricación de tableros aglomerados. En F. Fuentes Talavera, J. A. Silva Guzmán y J. Ramos Quirarte (Eds.), *Obtención de materiales compuestos empleando polímeros naturales* (pp. 15-34). Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías-Universidad de Guadalajara, Editorial Amate.
- Martínez-Palacios, A., Toral Paz, J., Herrera-Camacho, J. y Sánchez-Vargas, N. M. (2015). Prospectiva estratégica para el aprovechamiento del bagazo residual de agave generado al producir mezcal en Michoacán. En B. Flores Romero y F. González Santoyo (Coords.), *La empresa de clase mundial palanca del desarrollo económico* (pp. 1536-1569). Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores.
- Ortega Cahui, M. B. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz* [Tesis de Ingeniería Industrial]. Universidad Tecnológica de Perú. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega\\_Trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega_Trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pinzón, J. E., Martínez, J. H., Espinosa, A., Narváez, P. C. y Pérez, A. (2006). Polimerización de ácido (dl) láctico mediante policondensación por fusión directa. Estudio cinético de la etapa de oligomerización. *Revista Colombiana de Química*, 35(2), 125-134. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026669009.pdf>

- Ramírez Muñoz, F. A. (2010). *Aislamiento de bacterias Lactobacillus sp. y levaduras a partir de productos lácteos artesanales y evaluación de la capacidad antagónica in vitro* [Trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. <http://hdl.handle.net/10554/8624>
- Reveles Ramos, J. A. y Reveles Ramos, O. R. (2012, 23 de agosto). Método para la extracción de subproductos de bagazo de agave azul tequilana weber (WIPO, WO2012112018A1). <https://patents.google.com/patent/WO2012112018A1/es>
- Rodríguez Sepúlveda, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de fibra de plátano* [Tesis de magister]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52647/8911502.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, S. (2020, 16 de abril). Exportaciones de mezcal se desploman 80% por pandemia de coronavirus. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/negocios-exportaciones-mezcal-desploman-pandemia-coronavirus/>
- Sotomayor García, L. G. (2011). *Efectividad de aislados microbianos como agentes de biocontrol de Sclerotinia sclerotiorum en frijol* [Tesis de maestría]. Instituto Politécnico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13145/Lucila%20Gpe%20Sotomayor%20Garc%C3%ADa%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stewart, D., Azzini, A., Hall, A. y Morrison, I. (1997). Sisal fibres and their constituent non-cellulosic polymers. *Industrial Crops and Products*, 6(1),17-26.