

## PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES Y OTROS PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO A PARTIR DE EFLUENTES VITIVINÍCOLAS EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

VIRGINIA MONTIEL-CORONA,  
EDUARDO HERNÁNDEZ Y GERMÁN BUITRÓN

En el país existe un número creciente de empresas dedicadas a la producción de vinos que pueden ser fuentes de contaminación, si no se desarrollan sistemas de tratamiento adecuado para sus efluentes. El crecimiento de la industria vitivinícola va acompañado del aumento de efluentes contaminantes que tratar. Del proceso de producción de vino se genera entre 0.2 y 4 litros de efluentes, por litro de vino producido, con alta carga orgánica (rango de 221 a 436 g DQO/L) debido al contenido de carbohidratos, alcoholes, levaduras, ácidos, fenoles y sólidos de la uva (Vital-Jácome y Buitrón, 2021). Para salvaguardar los sistemas

acuáticos y suelos de la contaminación por estos efluentes, es necesario implementar sistemas de tratamiento que paralelamente, permitan recuperar productos de alto valor agregado para darle viabilidad económica, con ello, asegurar su implementación. Todo ello en línea con la Ley General de Economía Circular aprobada por el Senado de la República en noviembre de 2021 que, exige se minimice la generación de residuos, reincorporándolos nuevamente en procesos productivos cíclicos o biológicos, mediante la valorización y aprovechamiento de los residuos para prevenir y minimizar el impacto ambiental.

### Uso de efluentes vitivinícolas

Nuestro grupo de investigación, en el Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas de la Unidad Académica de Juriquilla del Instituto de Ingeniería de la UNAM, está trabajando en el desarrollo de procesos anaerobios que permiten obtener sustancias de alto valor y demanda comercial durante el tratamiento de efluentes vitivinícolas. Una de las propuestas consiste en llevar a cabo un proceso conocido como elongación de cadena para generar ácidos carboxílicos de cadena media y luego utilizarlos como sustrato para producir plásticos biodegradables (Figura 1). A continuación, se detalla en qué consiste cada etapa.

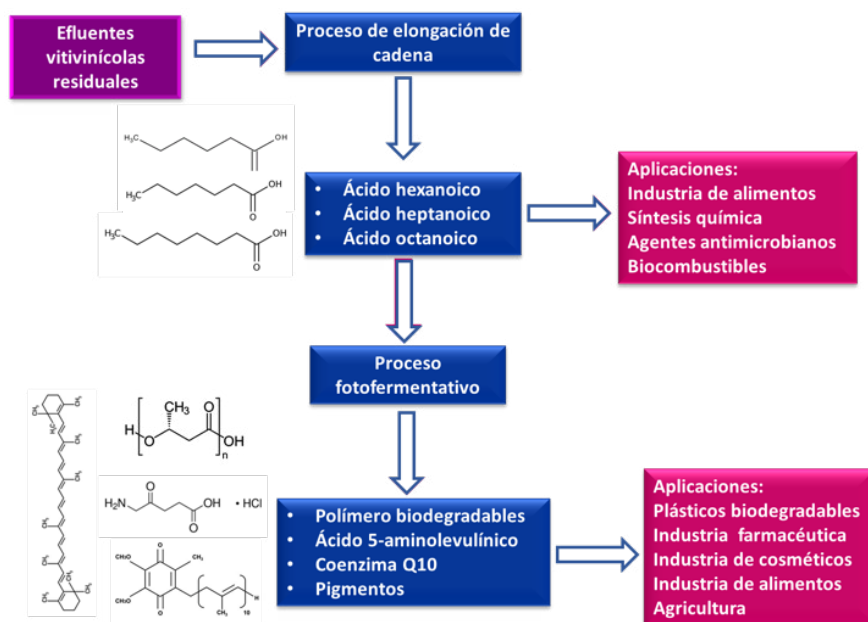


Figura 1. Proceso secuencial (elongación de cadena + fotofermentación) implementado por el LIPATA del Instituto de Ingeniería de la UNAM para el tratamiento de efluentes vitivinícolas residuales con la obtención de productos de alto valor agregado

## Producción de ácidos carboxílicos de cadena media

En la primera etapa, los efluentes vitivinícolas son sometidos a un proceso de elongación de cadena para la obtención de ácidos carboxílicos de cadena media (ACCM). Este proceso utiliza el etanol y el ácido acético presente en los efluentes vitivinícolas. Los ACCM son compuestos carbonados de 6 a 12 átomos de carbono de un alto valor en el mercado (Villegas Rodríguez y Buitrón, 2021). Se utilizan como materia prima para la síntesis química de un gran número de sustancias que incluyen fragancias y saborizantes artificiales para la industria de alimentos, síntesis de fármacos, síntesis de lubricantes y tintes; son agentes antimicrobianos, también, pueden usarse para la producción de combustibles y polímeros (Wu *et al.*, 2019). Ejemplo de estos compuestos son el ácido caproico (hexanoico) o el ácido caprílico (octanoico). Estos compuestos tienen una alta demanda en el mercado, actualmente, se busca obtenerlos a partir de efluentes residuales por procesos biológicos como alternativa a los caros procesos convencionales con los que se producen. Hemos implementado un proceso de producción de ACCM a partir efluentes vitivinícolas, en particular, de lías residuales. Estas lías residuales es una fracción semisólida de los efluentes, están compuestas por ácidos grasos, polisacáridos, levaduras, bacterias lácticas, polifenoles y algunos restos de hollejo. En nuestro laboratorio desarrollamos un proceso fermentativo para maximizar la producción de estos ácidos. Además, el fermentador está acoplado a un sistema de extracción-purificación en línea que permite obtener una solución concentrada de hasta 44 g/L de ACCM totales (principalmente ácido hexanoico seguido de ácido heptanoico y octanoico) (Figura 2). A diferencia de otros efluentes residuales, los efluentes vitivinícolas son un sustrato ideal para la producción de ACCM por su contenido elevado de etanol.

## Producción de plásticos biodegradables

Además de las aplicaciones que ya se han mencionado para los ACCM, en nuestro grupo se están utilizando como materia prima para un proceso fermentativo llamado fotofermentación que permite obtener otros productos con un valor agregado más alto que los ACCM (Figura 3). La fotofermentación es llevada a cabo por las bacterias púrpuras no del azufre (BPNA). Este tipo de microorganismos tienen gran flexibilidad metabólica que les permite utilizar y degradar una amplia gama de residuos, y al mismo tiempo, producir varias sustancias de interés económico como los polihidroxicanoatos (PHA), pigmentos, coenzima



Figura 2. Sistema de producción de ACCM en continuo a partir de efluentes vitivinícolas acoplado con un sistema de extracción en línea

Q10, aminoácidos, proteína, ácido 5-aminolevulínico e hidrógeno, entre otras (Montiel-Corona y Buitrón, 2021).

Dados los problemas de contaminación ambiental causados por los plásticos de origen petroquímico, existe interés en reemplazarlos por materiales biodegradables; los polihidroxicanoatos son polímeros 100% biodegradables que destacan por sus aplicaciones médicas y características únicas que les da ventajas sobre otros polímeros degradables. La producción de polihidroxicanoatos por bacterias púrpuras no del azufre tiene ventajas sobre los procesos biológicos convencionales, dado que, a diferencia de estos, lo pueden hacer en una etapa, en condiciones anaerobias, y lo más importante, con la producción simultánea de otras sustancias de alto valor económico como el ácido 5-aminolevulínico y coenzima Q10. El ácido 5-aminolevulínico tiene aplicaciones agrícolas como herbicida, insecticida y factor promotor del crecimiento de plantas. También, puede conferir a las plantas tolerancia a alta salinidad y a bajas temperaturas. En el área médica, este ácido se utiliza como agente anticanceroso. La Coenzima Q10 es un antioxidante nutracéutico de alto valor agregado que exhibe una excelente capacidad para prevenir enfermedades cardíacas, así como enfermedades de Parkinson y Alzheimer, facilita el tratamiento de tumores, aumenta la inmunidad y se utiliza en cosméticos para reducir la formación de arrugas.



Figura 3. Cultivos fotoheterótrofos enriquecidos en bacterias púrpuras no del azufre para la producción de sustancias de valor agregado

En este proyecto se enriquecieron comunidades de microorganismos fotoheterótrofos presentes en las aguas residuales. Con los consorcios naturales enriquecidos se ha logrado producir polihidroxicanoatos, ácido 5-aminolevulínico y coenzima Q10 utilizando los efluentes enriquecidos en ACCM obtenidos de lías vitivinícolas residuales (Figura 4). Por las múltiples aplicaciones industriales, agrícolas y médicas de estos compuestos que se están produciendo a partir de efluentes residuales, así como su elevado precio en el mercado, hacen atractiva esta tecnología e incentivan mejorar los procesos para aumentar los rendimientos y velocidades de producción.

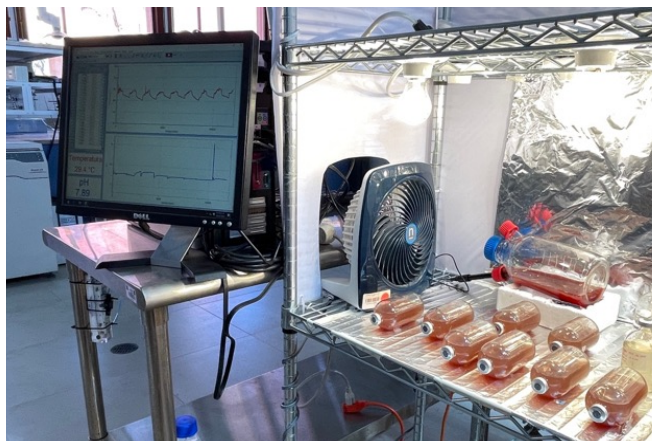


Figura 4. Producción de polihidroxicanoatos con bacterias púrpura fototróficas

## Producción de biogás

Finalmente, los efluentes de estos procesos fermentativos se envían a un digestor anaerobio para la producción de metano y reducción de la materia orgánica. En el proceso se han llegado a obtener productividades de hasta  $7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$  por  $\text{m}^3$  reactor por día (Vital-Jácome y Buitrón, 2021).

## Conclusiones

En el marco de la economía circular, muchos de los efluentes agroindustriales pueden ser valorizados durante su tratamiento. Esta aproximación no sólo asegura la viabilidad económica del proceso de tratamiento de los residuos, sino que simultáneamente, se obtienen productos de alto valor agregado en el mercado. Las investigaciones llevadas a cabo en nuestro grupo demuestran que a partir de los efluentes vitivinícolas no sólo se puede producir biocombustibles, sino que es posible obtener ácidos carboxílicos de cadena media, plásticos biodegradables, ácido 5-aminolevulínico de aplicación agrícola herbicidas y coenzima Q10 para la prevención de enfermedades como Parkinson entre otras.

## Agradecimientos

Este trabajo es apoyado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM a través del proyecto PAPIIT IT102522. Se agradece el apoyo técnico proporcionado por Gloria Moreno, Jaime Pérez y Ángel A. Hernández. |

## Referencias

---

- Montiel-Corona, V. y Buitrón, G. (2021). Polyhydroxyalkanoates from organic waste streams using purple non-sulfur bacteria. *Bioresource Technology*, 323, 124610.
- Villegas-Rodríguez, S. y Buitrón, G. (2021). Performance of native open cultures (winery effluents, ruminal fluid, anaerobic sludge and digestate) for medium-chain carboxylic acid production using ethanol and acetate. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101784.
- Vital-Jacome, M. A. y Buitrón, G. (2021). Thermophilic anaerobic digestion of winery effluents in a two-stage process and the effect of the feeding frequency on methane production. *Chemosphere*, 272, 129865.
- Wu, Q.; Bao, X.; Guo, W.; Wang, B.; Li, Y.; Luo, H. y Ren, N. (2019). Medium chain carboxylic acids production from waste biomass: current advances and perspectives. *Biotechnology advances*, 37(5), 599-615.