

FERMENTACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS: PRODUCCIÓN DE BIOALCOHOLES Y ÁCIDOS DE CADENA MEDIA

IDANIA VALDEZ VÁZQUEZ,
GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ,
GLORIA MORENO RODRÍGUEZ
Y JULIÁN CARRILLO REYES

La Unidad Académica Juriquilla (UAJ) participa en el Clúster Bioalcoholes del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía, financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética de la SENER-CONACYT. Este artículo describe las actividades realizadas en diferentes áreas.

1. Fuentes de biomasa

Biomasa se refiere a todo material proveniente de microorganismos, plantas y animales. En México los residuos forestales, agrícolas y agroindustriales están entre las fuentes más abundantes de biomasa.¹ La UAJ ha realizado trabajo en campo para determinar la disponibilidad y composición de biomasa de origen agrícola y agroindustrial, generada de los cultivos de maíz, trigo, caña de azúcar y agave azul. Estos cuatro cultivos en conjunto producen poco más de 43 millones de toneladas de residuos anuales (Fig. 1). La distribución por tipo de cultivo es 50% de residuos de maíz (rastros y olotes), 37% de residuos de caña de azúcar (bagazo), 9% de rastros de trigo, y 1% de bagazo de agave generado de la industria tequilera. Estos residuos tienen una composición de hasta 80% de celulosa y hemicelulosa, por lo que se clasifican como biomasa lignocelulósica que pueden ser aprovechados para producir bioalcoholes de segunda generación (2G). El trabajo de la Unidad en conjunto con otras Instituciones ha permitido determinar que es factible instalar al menos 34 plantas industriales denominadas biorrefinerías en 16 estados de la República para producir bioetanol 2G.²



Figura 1. Producción de bioetanol 2G a partir de residuos agrícolas en México

2. Pretratamiento biológico de la biomasa lignocelulósica

Una limitante en el uso de biomasa lignocelulósica para la producción de bioalcoholes es su naturaleza recalcitrante. Para solventar esto, se debe aplicar un pretratamiento a la biomasa con el fin de mejorar la disponibilidad de los azúcares para los microorganismos que producen el bioalcohol. El grupo de investigación de la Unidad desarrolla esquemas de biorrefinería basados en pretratamientos biológicos (Fig. 2). Los pretratamientos se basan en consorcios microbianos que tienen la capacidad de hidrolizar la hemicelulosa y celulosa en azúcares simples, con la producción simultánea de hidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGV).³ Análisis detallados de las comunidades hidrolíticas muestran que bacterias del género *Clostridium* y *Lactobacillus*, tienen un rol importante en el pretratamiento de la biomasa, ya que presentan actividad hidrolítica y fermentativa. Además, se están explorando el uso de otros consorcios microbianos con alta capacidad hidrolítica, como las bacterias presentes en el rumen de las vacas,⁴ las cuales han demostrado tener capacidad de hidrolizar distintas biomásas lignocelulósicas, como el bagazo de agave azul y de caña de azúcar.

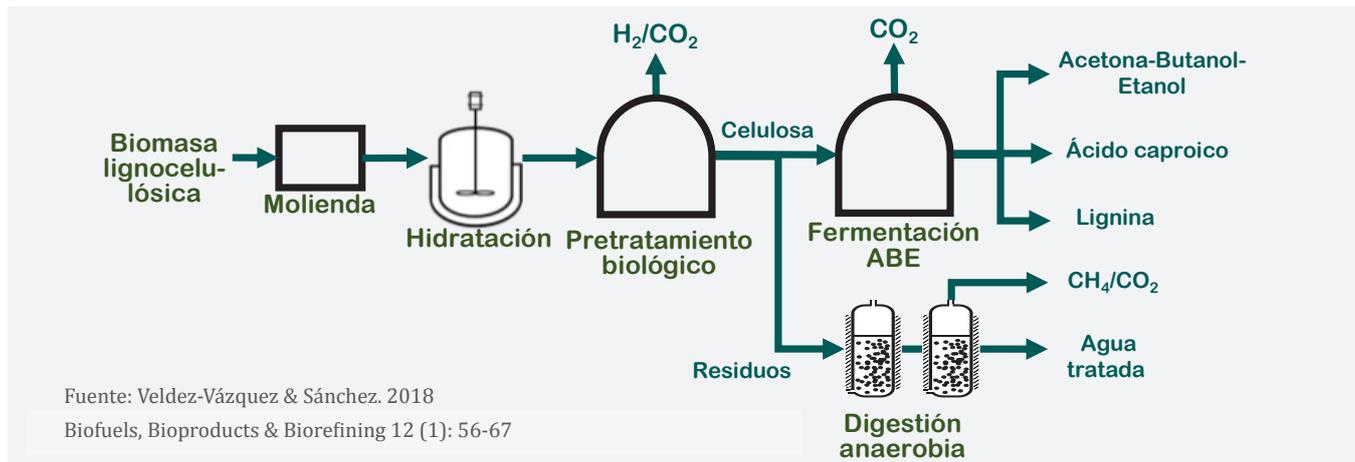


Figura 2. Esquema de biorrefinería para producción de biocombustibles y productos de valor agregado a partir de residuos agrícolas

3. Producción de biobutanol a través de fermentación acetobutílica

Una vez realizado el pretratamiento biológico, la biomasa lignocelulósica queda enriquecida con la celulosa que no fue consumida.⁵ Esta celulosa puede ser convertida en biobutanol en una segunda etapa. El biobutanol es un alcohol de cuatro carbonos que tiene mejores propiedades que el bioetanol para ser utilizado como biocarburante en el Sector Transporte. El biobutanol se produce bioquímicamente con bacterias del género *Clostridium* a través de la fermentación acetobutílica produciendo una mezcla de acetona-butanol-etanol (Fig. 2). Los estudios que se llevan a cabo en la Unidad Juriquilla tienen como objetivo producir solventes ABE utilizando consorcios microbianos donde prevalezcan las especies de *Clostridium*. Los estudios tecno-económicos indican que el uso de consorcios microbianos en la producción de biobutanol tendría menores costos de producción y mayor eficiencia energética que al utilizar cultivos puros.⁶ Las estrategias que se siguen en el laboratorio para lograr la producción de biobutanol a partir de residuos agrícolas contempla aclimatación de los consorcios a condiciones que favorezcan la fermentación acetobutílica, bioaumentación con especies de *Clostridium*, y utilización de hidrolizados ricos en azúcares.

4. Fermentación de ácidos de cadena media

Además de la producción de solventes ABE, también se ha detectado la acumulación de ácido n-caproico y ácido caprílico (Fig. 2), productos de alto valor agregado si se considera que

el precio del ácido n-caproico es 10 veces mayor que para los bioalcoholes. En la industria farmacéutica el ácido caproico se utiliza como agente microbiano, aditivo en la alimentación animal y como reactivo en la industria química, entre otros. En cuanto al ácido caprílico se utiliza como agente microbiano en la agricultura⁷, como precursor renovable para diésel y combustible de aviación⁸.

Se sabe que la producción del ácido n-caproico se lleva a cabo por *Clostridium kluyveri*. El proceso se conoce como elongación de la cadena y se lleva a cabo a través de la vía de la β -oxidación inversa a partir de los ácidos carboxílicos de cadena corta como el ácido acético y/o n-butírico. La producción de los ácidos caproico y caprílico también se presenta en consorcios microbianos presentes en digestores anaerobios donde el principal producto es metano, bajo condiciones especiales, por ejemplo, cuando se agrega un compuesto reducido como el etanol, e inhibiendo la metanogénesis (reduciendo el valor del pH), es factible producir ácido caproico o ácido caprílico a partir de acetato o butirato. Actualmente en la Unidad Juriquilla, se conduce un proyecto (DGAPA-PAPIIT) enfocado a la producción de ácido caproico y caprílico a partir de los efluentes de la industria vitivinícola acoplada al proceso de la digestión anaerobia. Los residuos vitivinícolas presentan una elevada concentración de etanol (hasta 120 g/L) y una elevada demanda química de oxígeno (250 g/L), por lo que es un residuo idóneo para implementar una plataforma para la producción de ácidos carboxílicos como los ácidos caproico y caprílico que podrían contribuir a valorizar los residuos de la industria vitivinícola para producir productos de alto valor agregado que pueden contribuir a la economía de la biorrefinería.

5. Tratamiento de residuos de una biorrefinería etanol 2G

El proceso de producción de bioalcoholes genera residuos tanto líquidos como sólidos, los cuales necesitan tratamiento antes de ser dispuestos. Una alternativa interesante para tratar estos efluentes es la utilización de un proceso anaerobio en dos etapas (Fig. 2). En la primera etapa, llamada acidogénica, las bacterias transforman la materia orgánica en ácidos grasos volátiles (AGV) como el acético, propiónico y butírico. En la segunda etapa, o metanogénica⁹, estos AGV son transformados por arqueas en biogás (metano y bióxido de carbono). Al separar el proceso en dos etapas, se aseguran las condiciones óptimas para cada grupo de microorganismos responsable del proceso. El objetivo de la investigación es evaluar la producción de biogás a partir de residuos generados de una biorrefinería 2G en un proceso anaerobio en dos etapas (Fig. 3).

La caracterización de los residuos de biorrefinería muestra que contienen una elevada concentración de carbohidratos (28.4 ± 0.6 g/kg) y carbono orgánico (32 ± 2 g/kg). Cuando estos residuos alimentan a la primera etapa acidogénica, la mayor parte de la materia orgánica se transforma en AGV, donde el acetato representa alrededor de 40%. En la segunda etapa del proceso, los AGV se transforman en metano con un rendimiento de 95 mLCH₄/gDQO, utilizando un tiempo de retención hidráulica de tres días. Los resultados sugieren que existe una posible inhibición de los microorganismos metanogénicos por la presencia de compuestos inhibitorios generados en el proceso de biorrefinería.¹⁰ La concentración de metano en el biogás lograda es de 67% con una remoción de materia orgánica de hasta 60%.



Conclusiones y perspectivas

El trabajo en conjunto de la Unidad Académica Juriquilla ha permitido establecer procesos novedosos para la conversión de residuos agrícolas y agroindustriales en bioalcoholes carburantes para el Sector Transporte, pero también otros productos con mayor valor agregado que pueden ser de interés para distintos sectores productivos.

Referencias

1. Valdez-Vázquez, I.; Acevedo-Benítez, J. A. y Hernández-Santiago, C. (2010). *Renew Sustain Energy Rev* 14(7):2147-2153.
2. Hernández, C.; Escamilla-Alvarado, C.; Sánchez, A.; Alarcón, E.; Ziarelli, F.; Musule, R. y Valdez-Vázquez, I. (2019). *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*.
3. Valdez-Vázquez, I.; Morales, A. L. y Escalante, A. E. (2017). *Microbial Biotechnol* 10:1569-1580.
4. Carrillo-Reyes, J.; Barragán-Trinidad, M. y Buitrón, G. (2016). *Algal Research*, 18:341-351.
5. Valdez-Vázquez, I.; Pérez-Rangel, M.; Tapia, A.; Buitrón, G.; Molina, C. E.; Hernández, G. y Amaya-Delgado, L. (2015). *Fuel* 159:214-222.
6. Valdez-Vázquez, I. y Sanchez, A. (2018). *Biofuel Bioprod Bior* 12(1):56-67.
7. Kenealy, W. R.; Cao, Y. y Weimer, J. (1995). *Appl Microbiol Biotechnol* 44:507-513.
8. Harvey, B. G. y Meylemans, H. A. (2014). *Green Chem* 16:770-776.
9. Figueroa-González, I.; Moreno, G.; Carrillo-Reyes, J.; Sánchez, A.; Quijano, G. y Buitrón, G. (2018). *Biotechnology Letters*, 40(3): 569-575.
10. Muñoz-Páez, K. M.; Alvarado-Michi, E. L.; Buitrón, G. y Valdez-Vázquez, I. (2019). *Int J Hydrogen Energy* 44(4): 2289-2297.



Figura 3. Reactores para el tratamiento en dos etapas de residuos de biorrefinería