

De los desperdicios al tanque de tu auto, cómo aprovechar los desperdicios del plátano

From waste to your car fuel tank, how to take advantage of banana waste

L.A. Alonso-Gomez^{1*}, E. Heredia-Olea²

Resumen

El uso de residuos de los procesos agrícolas y residuos agroindustriales para la producción de diferentes materiales de valor agregado es un área de estudio que se está incrementando en los últimos años. El centro de biotecnología FEMSA del Tecnológico de Monterrey, junto con investigadores del Instituto Politécnico Nacional de México, junto con la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales), vienen adelantando desarrollos importantes en cuanto a la producción de bioetanol y otros materiales de alto valor agregado, a partir de harinas con alto contenido de almidón y otros metabolitos de interés. Las etapas iniciales del desarrollo de un proceso biotecnológico involucran un análisis, técnico (a nivel de laboratorio con su posterior escalamiento) y económico y para que el proceso llegue a la sostenibilidad, es importante ir más allá mediante la determinación de los posibles impactos ambientales y sociales de dicho proceso biotecnológico. Los avances de dicho proyecto se presentan en este documento

Palabras Claves: Etanol — biocombustible — harina entera de plátano

Abstract

The use of residues from agricultural processes and agro-industrial residues for the production of different value-added materials is an area of study that has been increasing in recent years. The FEMSA biotechnology center of the Tecnológico de Monterrey, together with researchers from the National Polytechnic Institute of Mexico, together with the Technological University of Pereira and the National University of Colombia (Manizales headquarters), are advancing important developments regarding the production of bioethanol and other material with high added value, from flours with a high content of starch and other metabolites of interest. The initial stages of the development of a biotechnological process involve a technical analysis (laboratory level with its subsequent scaling), and economics and for the process to reach sustainability, it is important to go further by determining possible environmental problems and social aspects of the said biotechnological process. The progress of this project is presented in this document.

Keywords: Ethanol — biofuel — whole unripe plantain flour.

¹ Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo Ciencia Tecnología e Innovación Agroindustrial. Pereira, Colombia.

² Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Centro de Biotecnología-FEMSA. Monterrey, México.

*Autor para correspondencia: lalonso@unillanos.edu.co.

Introducción

No todos los alimentos que se cosechan llegan al consumidor final, a través de la cadena de producción de alimentos se genera una gran cantidad de desperdicios, tanto en la cosecha, su distribución, en las plantas de procesamiento o durante su venta en las tiendas. Estos residuos son ricos en carbohidratos que pueden ser fácilmente procesados para producir energía o extraer moléculas de alto valor agregado. La gestión y tratamiento de estos residuos es un reto global hoy en día, sin embargo, muchos de los residuos son abandonados en los campos hasta que estos se

descomponen generando enfermedades y proliferación de plagas. Usualmente se utilizan rellenos sanitarios para depositar los residuos orgánicos, pero esto más que ser una solución trae problema como la contaminación de aguas subterráneas y del subsuelo.

Este problema ha puesto sobre la mesa la búsqueda de métodos alternativos para gestionar un buen uso de los residuos orgánicos. Una de las principales ventajas de utilizar los residuos orgánicos como materia prima es el logro de dos objetivos fundamentales: la gestión de residuos y obtener valor agregado ya que su costo es tan bajo que abarata el proceso de transformación significativamente.

1. El bioetanol

El etanol es un solvente orgánico que tiene la capacidad de ser utilizado en bebidas, combustibles, como disolvente, anticongelante o desinfectante. Las materias primas provenientes de las plantas (biomasa) pueden ser procesadas para la obtención de carbohidratos fermentables y su transformación en combustibles alternativos como el etanol. Este compuesto puede ser mezclado con la gasolina y ser usado como alternativa en los vehículos de transporte o bien su más reciente uso como ingrediente principal del gel desinfectante. La fermentación de azúcares como la glucosa y la fructosa utilizando levadura hace de esta una tecnología viable y altamente redituable, en tan solo 24 horas se logra un alto rendimiento de bioconversión. En varios países se está estudiando la viabilidad del etanol carburante a partir de residuos de sorgo, trigo, maíz, arroz, soja, cebada, colza, caña de azúcar y remolacha azucarera para producir este combustible y productos de alto valor derivados de los residuos de la fermentación.

2. Los residuos del plátano como alternativa para producir etanol carburante

En países tropicales como México y Colombia, uno de los cultivos preponderantes es el plátano, el cual genera gran cantidad de residuos orgánicos. El plátano es el cultivo de fruta más importante en el mundo, en términos de toneladas cosechadas. Tan solo en 2014 su producción alcanzó los 114 millones de toneladas, con un 26% de su producción concentrada en Latinoamérica. Este cultivo produce una gran cantidad de residuos porque cada planta produce únicamente un racimo de plátano en su vida. Así mismo, en las etapas de selección y empaque, se presentan rechazos en las operaciones de desgaje y desmane, esto por inspección de las dimensiones del fruto y condiciones estéticas de la cáscara. Este rechazo puede representar el 20% del total de la producción anual. Se busca que el plátano rechazado ingrese a mercados locales, pero la perecibilidad del producto, en muchas ocasiones, no da tiempo para su distribución y en consecuencia se debe utilizar para alimentación animal o compostaje. Varios desechos de la agroindustria del plátano, como pseudotallo, pulpa y cáscaras, se han utilizado para generar productos fermentados de valor agregado como por ejemplo el ácido láctico debido a la cantidad de azúcares simples que contienen. O también, debido al alto contenido de azúcares simples y de almidones es posible fermentar estos residuos en etanol. Se ha demostrado que se puede obtener un máximo rendimiento de producción de etanol con pulpa de plátanos verdes inmediatamente después de cosechar. El rendimiento de etanol de plátanos maduros fue 23% menor que el de los inmaduros, lo que se atribuyó a la disminución de carbohidratos en base seca debida principalmente al consumo de glucosa por la actividad metabólica durante la maduración. Por tal motivo, en este estudio se tomó la recomendación de otros autores de utilizar plátano verde descartado para su venta y generar etanol. Un inconveniente técnico del plátano verde es el pelado del fruto, debido a la forma de los plátanos dificulta la automatización del proceso; además, la cáscara está muy adherida a la pulpa por el estado fisiológico del fruto. Para mejorar el rendimiento se evitó

el pelado teniendo en cuenta que, la cáscara al igual que la pulpa del plátano tienen alto contenido de carbohidratos (almidón y lignocelulosa) que una vez hidrolizados, son fermentables. Por lo tanto, es posible la obtención de etanol a partir de plátanos verdes con cáscara que son rechazados en la cadena productiva sin procesos extras de preparación. En este sentido, el uso de pulpa y cáscara juntas añade polisacáridos más complejos que el almidón, estos polisacáridos complejos pertenecientes a la pared celular vegetal, celulosa y hemicelulosa, que pueden ser procesados con ayuda de enzimas específicas para convertirlos en azúcares simples con el objetivo de mejorar los rendimientos de fermentación. Para analizar la factibilidad técnica de este fruto como materia prima para la producción de etanol, investigadores mexicanos del TEC de Monterrey y del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y colombianos de la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional Colombia (sede Manizales), buscan comparar los rendimientos en producción de azúcares fermentables y etanol en las harinas de plátano con cáscara y sin cáscara. Además de su viabilidad técnica, económica, ambiental y social.

3. Trabajo experimental

El trabajo de los grupos de investigación partió de plátano verde de rechazo, el cual fue procesado hasta la obtención de harina.

La caracterización de la harina de plátano demostró un alto contenido de almidón, tanto en la cáscara como en la pulpa del plátano verde, lo cual es ventajoso para la investigación pues este es un polímero que fácilmente se puede convertir en glucosa. Estas harinas fueron hidrolizadas enzimáticamente, donde se buscó prioritariamente el desdoblamiento de largas cadenas de amilosa y amilopectina que conforman los gránulos de almidón, y en segundo lugar dividir estas cadenas en moléculas de maltosa y glucosa, dos sustratos fundamentales para ser aprovechados por las levaduras como alimento y fuente de carbono en el proceso fermentativo. Las hidrólisis de pulpa de plátano con cáscara tuvieron rendimientos de azúcares notables. Es importante resaltar que del rendimiento de la hidrólisis enzimática depende el rendimiento de todas las etapas posteriores. Por lo que se observó, que el uso de enzimas fibrolíticas en conjunto con las amilasas mejoraron en un 23% la liberación de azúcares fermentables con respecto al uso de solo enzimas que hidrolizan almidón. Así mismo, es muy importante anotar que se alcanzaron concentraciones de etanol después de la fermentación hasta de 45.5 mL/L, muy similar a las concentraciones de etanol obtenidas con pulpa de plátano de 58.6 mL/L. Los menores rendimientos obtenidos con la muestra de harina completa, es decir con cáscara, se atribuyeron a que los azúcares fermentables se mezclan con el otro material soluble del mosto, como por ejemplo ramnosa, fucosa, xilosas y polifenoles (Agama-Acevedo et al., 2016), liberados de la cáscara en la etapa de sacarificación, además de la glucosa, esta diferencia determina cómo el metabolismo de la levadura se modula debido a cambios en la composición del mosto, dando como resultado un menor rendimiento en la producción de bioetanol, en presencia de otras moléculas liberadas por la cáscara.

4. Escalamiento y simulación de la destilación y la deshidratación

Se hizo un escalamiento de la producción a un flujo de materia prima de 5.5 Ton/h. Para la simulación se utilizó la caracterización química de la harina integral del plátano mexicano reportada por Alonso-Gómez et al. (2019). La simulación del caso colombiano se realizó utilizando la caracterización reportada por Duque et al. (2015). Como datos de entrada para realizar las simulaciones se utilizaron los rendimientos experimentales y las conversiones obtenidas en la fase de sacarificación reportadas por Alonso-Gómez et al. (2019) y Parra-Ramírez et al. (2020). Por último, la producción de bioetanol y etapas posteriores (destilación y deshidratación) se simuló utilizando los modelos Aspen Plus y el enfoque de diseño conceptual propuesto por Cardona Alzate et al. (2019). En la simulación se obtuvieron los balances de materia y energía del proceso, y estos fueron los datos de insumo para llevar a cabo la evaluación económica. Esta investigación ha demostrado el potencial técnico de la producción de bioetanol y harina utilizando frutos de plátano verdes rechazados (*Musa paradisiaca* L.) como materia prima en Colombia y México. La simulación del proceso demostró que la producción de bioetanol y harina son económicamente viables a escalas bajas 5.5 Ton/h.

5. Análisis económico

Los escenarios fueron evaluados económicamente utilizando el software comercial Aspen Process Economic Analyzer® (APEA) v9.0. Este software se usó para realizar el dimensionamiento de los equipos de acuerdo con las entradas y los flujos másicos para cada operación unitaria usada en la simulación. Además, el análisis económico se llevó a cabo siguiendo el enfoque metodológico reportado por Peters y Timmerhaus (1991). Los gastos de capital (CAPEX) del proceso se calcularon a través del dimensionamiento de los equipos teniendo en cuenta los balances de materia y energía de la simulación. Se tuvo en cuenta el costo asociado a la instalación de los equipos, como por ejemplo las tuberías y los accesorios. Además, los gastos operativos (OPEX) se calcularon teniendo en cuenta varios factores como los costos de las materias primas, los costos de mano de obra de los operarios, los costos de mantenimiento, los costos generales y los administrativos, así como la depreciación. El análisis económico se evaluó teniendo en cuenta una vida útil del proyecto de 10 años, una jornada laboral anual de 8000 h teniendo en cuenta una operación continua (24/7) y tres turnos por día (GreenDelta, 2016). Finalmente, se evaluaron los escenarios propuestos considerando los contextos colombiano y mexicano para analizar el efecto de las condiciones económicas en la rentabilidad del proceso. El análisis económico demostró que la producción de harina y bioetanol tiene el potencial de generar beneficios en menos de diez años en ambos contextos. Sin embargo, México tiene más posibilidades de implementar los procesos propuestos debido a los menores costos de operación en este país (mano de obra operativa y materia prima). Por el contrario, el mayor costo de operación en Colombia es la principal causa de la baja viabilidad económica de este proyecto.

Además, el uso de plátano entero (cáscara + pulpa) da mejores indicadores másicos, de energía y económicos que el uso de la cáscara y la pulpa por separado. El plátano rechazado tiene el potencial de ser utilizado como materia prima para la producción de bioetanol a pesar de la baja conversión de almidón alcanzada en los datos experimentales. Por último, la composición química de plátano verde permite proponer diferentes productos de valor agregado y vectores energéticos que se obtengan aplicando el concepto de biorrefinería.

Perspectivas

La perspectiva futura del equipo multidisciplinario internacional es desarrollar sistemas y tecnologías para extraer productos químicos de valor agregado de los residuos orgánicos del cultivo del plátano. La idea de utilizarlos como materia prima en los procesos de biorrefinería es muy interesante desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental. La conceptualización de las biorrefinerías que usan desechos agroindustriales es análoga a las refinerías de petróleo que usan petróleo crudo como materia prima. En este caso la biomasa que es el componente principal de los residuos agroindustriales, se consideraría como un análogo del petróleo crudo en el ámbito de la Biorrefinería.

Esta propuesta podría impulsar tanto el campo mexicano, como el sector rural colombiano generando empleos desde los cultivos rurales, incrementando los ingresos de los agricultores, y la mejora de las economías locales al construir biorrefinerías que demanden personal calificado y, por consiguiente, el bienestar de las familias involucradas directa o indirectamente.

Agradecimientos

A nuestros asesores Dr. Luis Arturo Bello Pérez y Dr. Sergio Serna Saldivar

Referencias

- Agama-Acevedo, E., Sañudo-Barajas, J., Vélez-De La Rocha, R., González-Aguilar, G., y Bello-Peréz, L. (2016). Potential of plantain peels flour (*musa paradisiaca* l.) as a source of dietary fiber and antioxidant compound. *CyTA-Journal Food*, 14:117.
- Alonso-Gómez, L., Heredia-Olea, E., Serna-Saldivar, S., y Bello-Pérez, L. (2019). Whole unripe plantain (*musa paradisiaca* l.) as raw material for bioethanol production. *J. Sci. Food Agric.*, 99:5784.
- Cardona Alzate, C., Solarte Toro, J., y Peña, G. (2019). Fermentation, thermochemical and catalytic processes in the transformation of biomass through efficient biorefineries. *Catal. Today*, 302:61.
- Duque, S., Cardona, C., y Moncada, J. (2015). Techno-economic and environmental analysis of ethanol production from 10 agroindustrial residues in colombia. *Energy and Fuels*, 775:29.
- GreenDelta (2016). *PSILCA – A Product Social Impact Life Cycle Assessment database. Database version 1.0. Documentation 1–99.*

Parra-Ramírez, D., Solarte-Toro, J., y Cardona-Alzate, C. (2020). Techno-economic and environmental analysis of biogas production from plantain pseudostem waste in Colombia. *Waste and Biomass Valorization*, 11:3161.

Peters, M. y Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers 4th edition*. McGraw-Hill Publishing Company.