

MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA BIORREFINERÍA DE CÁSCARA DE ARROZ PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL, SÍLICE, LIGNINA Y FURFURAL

Bacquerié, Camila^{1*}; Ferrari, Mario Daniel¹; Lareo, Claudia¹; Larnaudie, Valeria¹

¹ Departamento de Ingeniería Bioquímica y Bioprocesos, Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo, Uruguay.

* cbacquerie@fing.edu.uy

Introducción

La transición energética hacia fuentes renovables, en detrimento del uso de combustibles fósiles, es clave para mitigar el cambio climático. En el sector transporte, se prevé que los biocombustibles de segunda generación y la electricidad renovable serán fundamentales en dicha transición. Estos biocombustibles, obtenidos de biomásas lignocelulósicas no alimenticias, requieren procesos complejos (Nand et al., 2015; IEA, 2024). Una estrategia para contribuir a su viabilidad económica es aplicar un concepto de biorrefinería de modo de integrar procesos que utilicen los diferentes componentes de la materia prima para la obtención de un portafolio de productos comercializables (Liu et al. 2021).

La cáscara de arroz, abundante en Uruguay, es un residuo lignocelulósico de difícil degradación por su alto contenido de cenizas. Puede valorizarse mediante pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación en una biorrefinería, generando productos químicos y biocombustibles de segunda generación.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de procesos de una biorrefinería de cáscara de arroz para la obtención de bioetanol combustible, sílice precipitada, lignina, furfural, ácido acético y sulfato de sodio, en base a información experimental y a datos de la literatura. Se realizaron balances de materia y energía, que constituyen un insumo fundamental para análisis futuros económicos y ambientales.

Descripción del proceso

El proceso incluye dos etapas de pretratamiento que generan corrientes líquidas y sólidas valorizadas por separado. La autohidrólisis de la materia prima (180°C, 30 min, 20% sólidos) produce una fracción líquida rica en xilooligosacáridos, que se concentra en evaporadores y convierte en furfural en un reactor bifásico ácido con tetrahidrofurano como solvente. La fracción sólida se trata con NaOH (150°C, 90 min, 20% sólidos, 24% (g de NaOH/100 g sólido seco)), solubilizando lignina y cenizas, que se separan por filtración y precipitación ácida. El NaOH neutralizado genera sulfato de sodio, que se purifica. La fracción sólida (rica en glucano) se somete a sacarificación (16% sólidos, 50°C, 20 FPU/g glucano) y fermentación para producir etanol. Se contempla además el manejo de la cáscara de arroz, tratamiento de efluentes, la combustión para producción de vapor y otros servicios necesarios.

Simulación

El modelo de simulación del proceso fue desarrollado en Aspen Plus® V14, utilizando el modelo NRTL como paquete de propiedades.

La simulación de las áreas de autohidrólisis, tratamiento alcalino, hidrólisis enzimática y precipitación selectiva, se sustentó en resultados experimentales a escala de laboratorio realizadas en el marco del Proyecto (ANII-FSE_1_2022_1_175516). La producción de furfural y ácido acético se basó en el trabajo de Xing et al. (2011). Las áreas restantes se simularon según Humbird et al. (2011). Se consideró la siguiente composición de la cáscara de arroz (base seca), según datos experimentales: glucano (33,2%), xilano (15,6%), arabinano (1,7%), lignina total (18,1%), extractivos (8,4%), grupos acetilo (2,2%), proteínas (2,1%) agua (9.3%). Se tomó como tamaño de planta 16 t/h cáscara seca.

Resultados y Discusión

Se realizó un modelo detallado del proceso en Aspen Plus, obteniendo balances de masa y energía que permiten comprender la biorrefinería de forma integrada. En la Figura 1 se presenta el balance de masa de los principales componentes a lo largo del proceso y los consumos energéticos más importantes, utilizando como base una tonelada de cáscara de arroz. Este análisis permite identificar etapas clave a nivel de consumo de recursos, reactivos y energía, así como evaluar la influencia de cambios en los rendimientos de las distintas etapas.

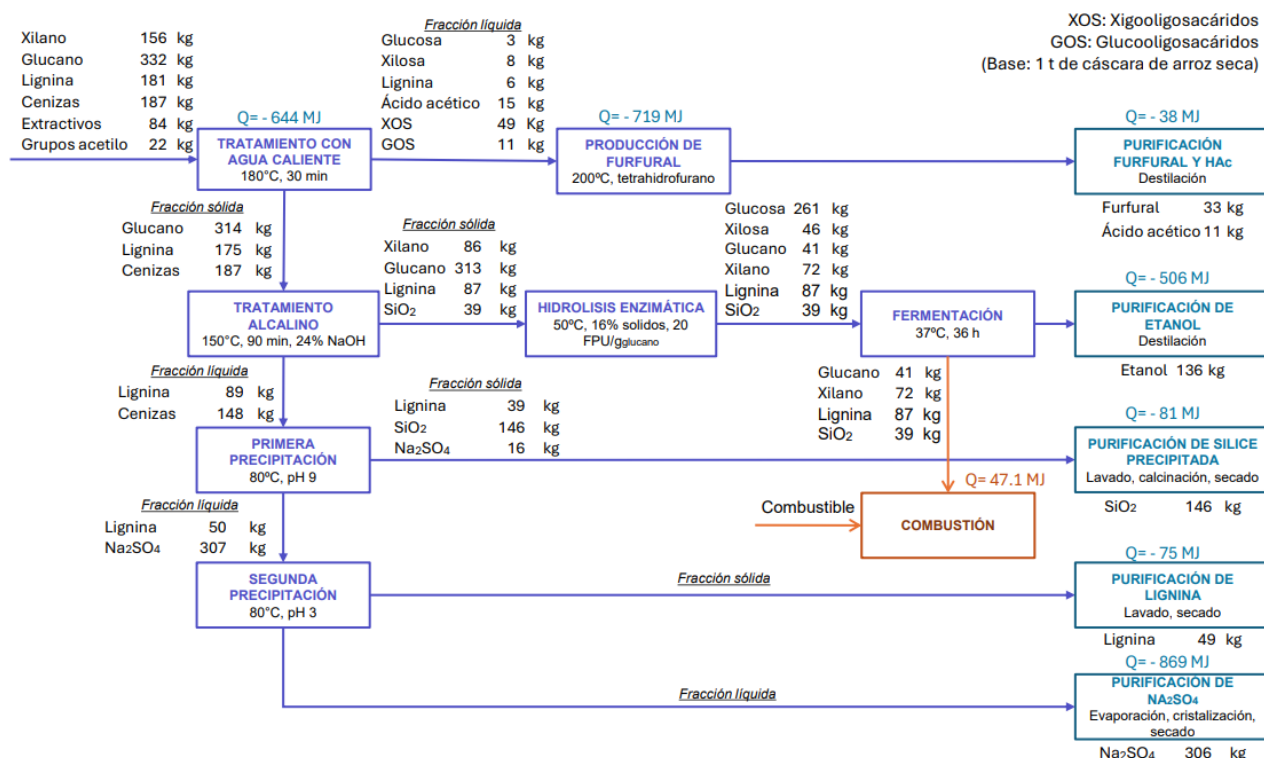


Figura 1. Balance de masa y consumos energéticos obtenidos en la simulación del proceso.

Una observación relevante es el alto consumo de NaOH en el tratamiento alcalino y su impacto en la generación de Na₂SO₄, cuya purificación tiene importantes requerimientos energéticos. Por otro lado, se destaca la relevancia de obtener altos contenidos de glucosa en el caldo de fermentación, dando lugar a concentraciones mayores de etanol y reduce la energía requerida para su purificación.

Conclusiones

Se desarrolló un modelo en Aspen Plus que brinda información valiosa sobre una biorrefinería integrada de cáscara de arroz, resultando un insumo fundamental para el desarrollo de análisis económicos y ambientales. Esto permitirá comparar alternativas de proceso e identificar cuellos de botella, buscando mejorar su rentabilidad y sostenibilidad.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por ANII-FSE_1_2022_1_175516 y por una beca de maestría ANII.

Referencias

- Humbird, D., R. Davis, L. Tao, C. Kinchin, D. Hsu, and A. Aden. 2011. "Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol." *Pharmaceutical Extrusion Technology* (May).
- International Energy Agency. 2024. "Renewables 2023." Paris.
- Liu, Yuzhong, Pablo Cruz-Morales, Amin Zargar, Michael S. Belcher, Bo Pang, Elias Englund, Qingyun Dan, Kevin Yin, and Jay D. Keasling. 2021. "Biofuels for a Sustainable Future." *Cell* 184(6):1636-47.
- Xing, Rong, Wei Qi, and George W. Huber. 2011. "Production of Furfural and Ca
- Nanda, Sonil, Ramin Azargohar, Ajay K. Dalai, and Janusz A. Kozinski. 2015. "An Assessment on the Sustainability of Lignocellulosic Biomass for Biorefining." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50:925-41.
- rboxylic Acids from Waste Aqueous Hemicellulose Solutions from the Pulp and Paper and Cellulosic Ethanol Industries." *Energy and Environmental Science* 4(6):2193-2205.