

## Residuos agroindustriales como fuente de ácidos grasos volátiles: estado del arte y potenciadores innovadores

*Agro-industrial residues as a source of volatile fatty acids: state of the art and innovative enhancers*

**Joshua Pazmiño<sup>1</sup>, Jaime Martí-Herrero<sup>2</sup>, Rocio Cecibel Jiménez Paute<sup>3</sup>**

*1* Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0005-3588-1850>

*2* CIMNE, UNED-CIEMAT, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Universidad de La Laguna. <https://orcid.org/0000-0001-5020-1896>

*3* Biomass to Resources, Universidad Internacional de La Rioja, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Universidad Técnica Particular de Loja. <https://orcid.org/0000-0001-5335-8987>

**Autor de correspondencia:** [joshua.pazmino@est.ikiam.edu.ec](mailto:joshua.pazmino@est.ikiam.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.bbfs.e4>

### Resumen

La síntesis de ácidos grasos volátiles (AGV) a partir de residuos agroindustriales representa una estrategia sostenible para la producción de productos de mayor valor agregado en comparación con los métodos tradicionales. Este trabajo tiene como objetivo destacar los avances científicos recientes en la síntesis de AGV utilizando tecnologías de bajo costo. Se realizó un análisis bibliográfico exhaustivo para identificar los parámetros operativos, fisicoquímicos y biológicos que influyen en la generación de AGV tanto desde las fuentes de inóculo como desde la biomasa destinada a su valorización. La literatura revisada enfatiza el uso de biocarbón (biochar) como agente catalítico y estabilizante durante los procesos de hidrólisis y acidogénesis. Además, se señala el uso de fluido ruminal como consorcio microbiano, enriquecido con enzimas hidrolíticas capaces de degradar polisacáridos. Los resultados sugieren que la aplicación combinada de estos componentes tiene un potencial significativo para mejorar tanto la rentabilidad como la productividad de la producción de AGV, contribuyendo así al impulso de una economía circular diversificada.

Palabras clave: Ácidos grasos volátiles; Biocarbón (biochar); Economía circular; Residuos agroindustriales.

## **Abstract**

The synthesis of volatile fatty acids (VFAs) from agro-industrial residues represents a sustainable strategy for producing higher value-added products compared to traditional methods. This work aims to highlight recent scientific advancements in VFA synthesis utilizing low-cost technologies. A comprehensive bibliographic analysis was conducted to identify the operational, physicochemical, and biological parameters influencing VFA generation from both inoculum sources and the biomass scheduled for valorization. The reviewed literature emphasized the application of biochar as a catalytic and stabilizing agent during the hydrolysis and acidogenesis processes. Additionally, the use of ruminal fluid as a microbial consortium, enriched with hydrolytic enzymes capable of degrading polysaccharides, was noted. The findings suggest that the combined application of these components has significant potential to enhance both the profitability and productivity of VFA production, thereby contributing to the advancement of a diversified circular economy.

Keywords: Volatile fatty acids; Biochar; Circular economy; Agro-industrial residues.

## **Introducción**

Los ácidos grasos volátiles (AGV, VFAs por sus siglas en inglés) son compuestos hidrocarbonados intermedios generados durante la digestión anaerobia, con un potencial significativo en la producción de bioplásticos, biohidrógeno y en biorrefinerías. La síntesis de AGV está fuertemente influenciada por la composición de la biomasa de entrada, dado que carbohidratos, lípidos y proteínas actúan como sustratos para estos ácidos grasos de cadena corta en proporciones variables. Además, parámetros operativos clave como el pH, la temperatura, la tasa de carga orgánica (OLR), el tiempo de retención hidráulica (HRT), los sólidos volátiles (SV), la demanda química de oxígeno (DQO) y la relación carbono/nitrógeno/fósforo (C/N/P), junto con la relación sustrato/microorganismo (S/M), son críticos para optimizar la acumulación de AGV.

Investigaciones recientes han destacado el papel del biocarbón (biochar) como agente catalítico y estabilizante en la digestión anaerobia, lo que conduce a una mayor producción de AGV. De igual forma, la inclusión de fluido ruminal en digestores anaerobios in vitro ha demostrado promover de manera significativa la hidrólisis y la acidogénesis, gracias a consorcios microbianos capaces de hidrolizar eficientemente polisacáridos y convertirlos en AGV. A pesar de los resultados prometedores de estas tecnologías de bajo costo, existe una carencia de estudios que exploren sus efectos combinados, lo que representa una oportunidad única para integrar enfoques innovadores.

En Ecuador, particularmente en la región amazónica, la alta tasa de producción de yuca genera cantidades importantes de residuos agroindustriales sólidos y líquidos. Este subproducto plantea un desafío ambiental debido al elevado contenido de sólidos disueltos que se liberan a los ecosistemas tras la extracción de almidón. Datos del SIPA (MAG, 2024) evidencian la extensa superficie cosechada y los volúmenes de producción de yuca en 2024, subrayando la magnitud de este problema. Además, estudios como el realizado por Jaramillo Intriago et al. (2023) señalan que los efluentes de plantas de producción de almidón suelen superar una DQO de 30 000 mg/L. Aprovechar estos residuos para la producción de AGV no solo podría mitigar el impacto ambiental, sino también impulsar una economía circular. Este estudio tiene como objetivo consolidar información sobre tecnologías emergentes y de bajo costo que presentan aplicaciones promisorias en sectores rurales y agro productivos.

## Materiales y métodos

Esta investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva con un diseño descriptivo-comparativo. Se incluyó la recopilación y análisis de artículos científicos publicados entre 2020 y 2025 en bases de datos indexadas de reconocida calidad, como ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis y Google Scholar. Además, se incorporaron datos oficiales sobre las tasas de producción de yuca en el Ecuador y la caracterización de las aguas residuales de la industria del almidón, con el fin de enfatizar el papel crítico de los ácidos grasos volátiles (AGV o VFAs) en el impulso de una economía circular.

La búsqueda bibliográfica siguió lineamientos específicos que priorizaron el uso de palabras clave en inglés tales como “volatile fatty acids (VFAs)”, “biochar”, “anaerobic digestion”, “cassava wastewater”, “hydrolysis”, “acidogenesis”, “inhibition of methanogenesis”, “food waste valorization” y “low-cost technologies”. Estas palabras clave fueron fundamentales para establecer tanto los aspectos técnicos como prácticos de la valorización de residuos orgánicos. Se prestó especial atención al manejo de parámetros operativos y fisicoquímicos, entre ellos pH, temperatura, tiempo de fermentación, sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO), los cuales constituyeron la base del manejo eficaz de biomasa agroindustrial.

Los criterios de selección se centraron en estudios que exploraran la optimización de la generación de AGV a partir de residuos agroindustriales, con énfasis particular en el uso de biocarbón (biochar) como material soporte o catalítico y de fluido ruminal como inóculo microbiano. Asimismo, la revisión incorporó estudios que utilizaron diversas técnicas analíticas, como cromatografía de gases con detectores de ionización de llama (FID) o de conductividad térmica (TCD), espectrofotometría, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (ATR-FTIR) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). También se incluyeron

métodos de biología molecular basados en la secuenciación del gen 16S rARN, junto con plataformas bioinformáticas como QIIME2 y DADA2.

Las variables identificadas en la revisión se organizaron en tres dimensiones clave: (1) eficiencia del proceso (rendimiento de AGV), (2) componentes fisicoquímicos y microbiológicos (incluyendo soportes orgánicos microbianos e identificación de comunidades bacterianas) y (3) valorización (aplicaciones industriales de los AGV). Esta organización consideró su potencial aplicación como precursores de bioplásticos tipo PHA/PHB, así como su papel en la optimización del manejo de la desnitrificación, la producción de biofertilizantes, el desarrollo de solventes verdes y su función como intermediarios en el contexto de una economía circular.

## **Resultados y discusión**

Los estudios analizados indican que el tipo de biomasa impacta de manera significativa tanto en la composición como en la cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos. Por ejemplo, residuos ricos en polisacáridos y almidón, como la yuca, generaron las mayores cantidades de AGV (Sanchez-Ledesma et al., 2025). En contraste, materiales lignocelulósicos, como los lodos de pulpa y la paja de maíz, requirieron inóculos especializados para mejorar el proceso de digestión (Yu et al., 2025; Liang et al., 2024). En general, los AGV predominantes identificados fueron los ácidos acético, propiónico y butírico, en concordancia con revisiones globales (Agnihotri et al., 2022).

Los principales parámetros operativos que influyen en la producción de AGV incluyen el pH, la temperatura y la tasa de carga orgánica. Presti et al. (2021) demostraron que un pH inicial alcalino cercano a 10 favoreció la acumulación de AGV utilizando lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales. Además, Liang et al. (2024) encontraron que mantener un pH neutro incrementó la diversidad microbiana de comunidades productoras de acetato y propionato cuando se utilizó inóculo ruminal. Esta estrategia inhibió de manera efectiva la metanogénesis, al tiempo que mejoró las tasas de hidrólisis y acidogénesis.

El biocarbón (biochar) surgió como una tecnología de bajo costo promisoría, actuando como agente catalítico que facilita la transferencia de electrones entre microorganismos y estabiliza el medio (Morón Kola et al., 2025; Zheng et al., 2025). La aplicación de biocarbón activado química o físicamente incrementó el área superficial y el número de grupos funcionales, promoviendo así una hidrólisis superior de la celulosa (Wei et al., 2020). Cuando se combina con fluido ruminal, esta tecnología puede mejorar de forma significativa la degradación de materia orgánica de manera práctica (Yu et al., 2025; Liang et al., 2024).

En la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de yuca, la DQO y los sólidos volátiles (SV) resultaron parámetros operativos clave para evaluar su potencial como sustrato (Jaramillo Intriago et al., 2023). El análisis de AGV se realizó mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID) y, en menor medida, cromatografía líquida de alta resolución con detección ultravioleta (HPLC-UV) (Presti et al., 2021; Zhang et al., 2025). La producción de gases ( $H_2$  y  $CH_4$ ) se monitoreó mediante cromatografía de gases con detector de conductividad térmica (GC-TCD) durante estudios de fermentación en lote (Kakar et al., 2025). La identificación microbiana se basó en la secuenciación de la región 16S rARN y análisis bioinformáticos mediante métodos como NGS, QIIME y PICRUSt2, que identificaron géneros como *Clostridium*, *Prevotella* y *Succiniclasticum* como actores clave en la acidogénesis (Yu et al., 2025; Liang et al., 2024).

De acuerdo con SIPA (MAG, 2024), la provincia de Napo en Ecuador cuenta con más de 600 hectáreas cosechadas de yuca, con una tasa de producción de 8,52 toneladas por hectárea en 2024. Además, el ganado bovino representa más de tres cuartas partes de la población ganadera del país, lo que indica una fuente fácilmente disponible de rumen para inóculos. Esta caracterización de biomasa rica en polisacáridos, junto con el inóculo ruminal, subraya su potencial como opciones sostenibles para la generación y valorización de AGV.

La revisión de Agnihotri et al. (2022) reafirma el papel de los AGV en procesos de biorrefinería y generación de energía, promoviendo una economía circular sostenible y diversificada. AGV como los ácidos acético y propiónico son altamente demandados en las industrias química y alimentaria, mientras que los ácidos butírico y caproico encuentran aplicaciones en la producción de biocombustibles. En consecuencia, la valorización de residuos agroindustriales mediante acidogénesis constituye una estrategia crucial para impulsar una economía diversificada basada en bioproductos de valor agregado.

## **Conclusiones**

En conjunto, los estudios revisados demuestran que la naturaleza de la biomasa, junto con el control fino de parámetros operativos (pH, temperatura, carga orgánica) y el uso de tecnologías de apoyo como el biocarbón y el fluido ruminal, determina de manera decisiva el rendimiento y perfil de los AGV. La disponibilidad de residuos ricos en polisacáridos, como las aguas residuales de yuca en Napo, y de fuentes locales de inóculo ruminal posiciona a estos sustratos como alternativas sostenibles para la producción de AGV en Ecuador. Dado el creciente interés industrial por ácidos como el acético, propiónico, butírico y caproico, la valorización de residuos agroindustriales mediante acidogénesis se configura como una vía estratégica para fortalecer una economía circular diversificada basada en bioproductos de alto valor agregado.

## Referencias Bibliográficas

Agnihotri, S., Yin, D. M., Mahboubi, A., Sapmaz, T., Varjani, S., Qiao, W., Koseoglu-Imer, D. Y., & Taherzadeh, M. J. (2022). A glimpse of the world of volatile fatty acids production and application: A review. *Bioengineered*, 13(1), 1249–1275. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1996044>

Jaramillo Intriago, V. C., López Ponce, K. P., Guanoluiza Carreño, J., Briones Ponce, G. E., & Moreira-Mendoza, C. A. (2023). Physicochemical characterization of industrial wastewater generated by cassava starch production using the wet method. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 10(2). Universidad de Panamá. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2154400007/>

Kakar, F. L., Aqeel, H., Okoye, F., Elbeshbishy, E., & Liss, S. N. (2025). Microbial shifts and VFA production in the optimization of anaerobic digestion by thermal hydrolysis coupled with vacuum fermentation. *Bioresource Technology*, 429, 132481. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132481>

Liang, J., Zhang, P., Zhang, R., Chang, J., Chen, L., Wang, G., Tian, Y., & Zhang, G. (2024). Response of rumen microorganisms to pH during anaerobic hydrolysis and acidogenesis of lignocellulose biomass. *Waste Management*, 174, 476–486. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.12.035>

Moronkola, A. A., Oyedeko, K. F. K., Patinvoh, R. J., et al. (2025). Optimization of volatile fatty acids from food waste for the synthesis of polyhydroxyalkanoates. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06548-y>

Presti, D., Cosenza, A., Capri, F. C., Gallo, G., Alduina, R., & Mannina, G. (2021). Influence of volatile solids and pH for the production of volatile fatty acids: Batch fermentation tests using sewage sludge. *Bioresource Technology*, 342, 125853. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125853>

Sanchez-Ledesma, L. M., Rodríguez-Victoria, J. A., & Ramírez-Malule, H. (2025). Kinetic modeling of volatile fatty acids production using cassava wastewater as low-cost substrate. *Water*, 17(7), 991. <https://doi.org/10.3390/w17070991>

Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). (2024). Agricultural production figures: Cassava production in Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://sipa>

[agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas](http://agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas)

Wei, Y., Shen, C., Xie, J., & Bu, Q. (2020). Study on reaction mechanism of superior bamboo biochar catalyst production by molten alkali carbonates pyrolysis and its application for cellulose hydrolysis. *Science of the Total Environment*, 712, 136435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136435>

Yu, F., Li, N., Li, H., Zhang, Y., Chen, L., Wang, B., Sheng, X., Zhang, J., Ping, Q., & Xiao, H. (2025). Boosting volatile fatty acids (VFAs) production during anaerobic digestion of lignocellulose-rich pulp mill excess sludge by inoculating rumen fluid and studying microbial community structures and functions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 303, 140718. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140718>

Zhang, Z., Zhang, R., Ma, Y., & Sun, Y. (2025). Improved volatile fatty acid production in anaerobic digestion via simultaneous temperature regulation and persulfate activation by biochar: Chemical and biological response mechanisms. *Environmental Research*, 264(Part 1), 120271. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120271>

Zheng, X., Zhao, Z., Zhu, Z., Wu, Y., Long, M., & Chen, Y. (2025). Harnessing conductive materials for sustainable food waste treatment: Comparative evaluation of biochar and magnetite in volatile fatty acid production. *Journal of Environmental Management*, 387, 125887. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125887>