

PRODUCCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES MEDIANTE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA: UNA REVISIÓN

Andres Castro Sierra*, María Myrna Solís Oba, Ana Rosa Sánchez Camarillo, Angélica Romero Rodríguez, Juan Luis Soto García,
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN)¹, *andres.castro.sierra21@gmail.com

RESUMEN

Los ácidos grasos volátiles (AGV) tienen aplicaciones industriales en los sectores farmacéutico, alimentario, químico y energético; éstos son producidos principalmente a partir de fuentes petroquímicas, las cuales tienen efectos negativos en la salud y el ambiente. Por otro lado, en la actualidad, existe una generación desmesurada de residuos que podrían ser utilizados como sustrato para su biosíntesis. Bajo esta premisa, el presente es una revisión bibliográfica para analizar las ventajas del uso de la digestión anaerobia como una alternativa renovable y sostenible para producir AGV; así como la revisión del efecto de los parámetros de operación (pH, temperatura, tiempo de retención hidráulico y el tipo de sustrato) que influyen en su producción.

Palabras claves: biotecnología ambiental, bioenergía, revalorización de los residuos.

ABSTRACT

Volatile fatty acids (VFA) have industrial applications in the pharmaceutical, food, chemical and energy sectors; These are produced mainly from petrochemical sources, which have negative effects on health and the environment. On the other hand, at present, there is an excessive generation of waste that could be used as a substrate for its biosynthesis. Under this premise, this is a literature review to analyze the advantages of using anaerobic digestion as a renewable and sustainable alternative to produce VFA; as well as the review of the effect of the operating parameters (pH, temperature, hydraulic retention time and the type of substrate) that influence its production.

Keywords: environmental biotechnology, bioenergy, revaluation of waste.

1. INTRODUCCIÓN

La generación desmesurada de residuos y su bajo aprovechamiento, en conjunto con la crisis energética actual, plantea escenarios complicados de sobrellevar en los ejes sociales, políticos, económicos y ambientales (Bigarelli et al., 2019). Esta situación impone grandes exigencias al desarrollo de tecnologías verdes que aprovechen los residuos para la generación de productos de interés comercial y energético, como son los ácidos grasos volátiles (AGV); éstos pueden ser utilizados en diversas industrias, por ejemplo para la síntesis de vinagres, aromatizantes, conservadores, plaguicidas, plásticos, pinturas, lubricantes, cosméticos, biodiésel y electricidad, entre otros (Atasoy et al., 2018).

Tradicionalmente, los AGV son producidos a partir de fuentes petroquímicas, las cuales tienen efectos negativos en la salud y el ambiente, debido a que generan gases de efecto invernadero mismo que coadyuvan al calentamiento

global. Con base en ello, en los últimos años, se ha planteado el uso de la digestión anaerobia como una ruta alternativa y renovable para la obtención de AGV a partir de residuos (Pena, 2021). El presente trabajo pretende hacer una revisión de las metodologías y resultados obtenidos en trabajos previos y analizar las ventajas y pertinencia de la obtención de AGV a través de la digestión anaeróbica (DA).

2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia (DA) se basa en la acción secuencial de ciertos microorganismos [Figura 1] que en ausencia de oxígeno son capaces de biodegradar diversos sustratos orgánicos para producir biogás, el cual si contiene al menos un 45 % de metano se puede emplear como combustible para generar electricidad o calor, y un subproducto denominado digestato, que es una mezcla de materia orgánica parcialmente degradada, biomasa microbiana y componentes inorgánicos al que se le atribuyen propiedades fertilizantes (Anukam et al., 2019). El biogás producido por medio de la DA ha sido ampliamente documentado, debido a que es una fuente de energía renovable, no obstante, el digestato no lo ha sido tanto, a pesar de que durante el proceso de la DA se producen metabolitos de interés comercial, como son los AGV (Atasoy et al., 2018).

Para la producción de metano, se ha reportado que se favorece con relaciones de C/N de 20/1 a 30/1 (Castro et al., 2020); debido a que si hay mayor presencia de nitrógeno puede producirse altas cantidades de amoníaco lo cual puede inhibir el proceso (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005), el rango óptimo de pH para la máxima obtención de metano es entre 6.5 y 7.5; además, a pH neutro, se pueden obtener los AGV (>99%) en su forma ionizada, es decir, no tóxica (Iglesias-Iglesias, 2021); finalmente, la temperatura influye dependiendo de los microorganismos.

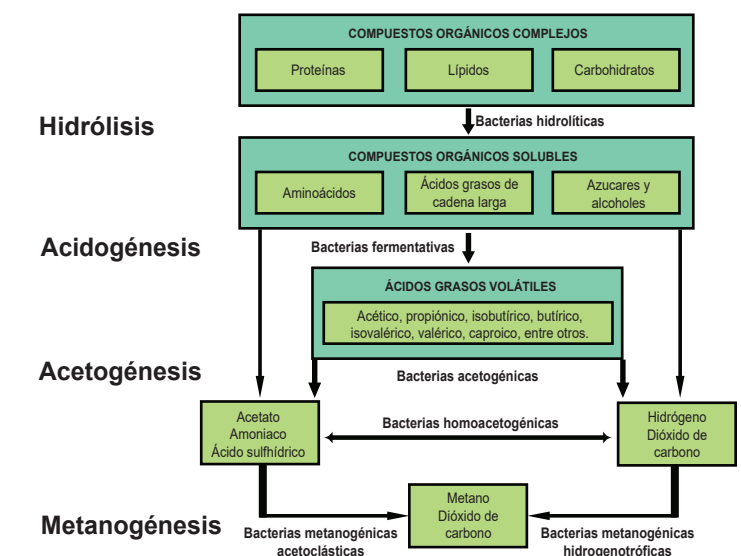


Figura 1. Etapas de la digestión anaerobia (Elaboración propia).

La DA consta de cuatro etapas, en la primera etapa las bacterias hidrolíticas disocian a las macromoléculas orgánicas (carbohidratos, lípidos y proteínas) en sus oligómeros y monómeros (azúcares, ácidos grasos y aminoácidos), esta situación permite que, durante la segunda etapa, las membranas celulares de los microorganismos acidogénicos puedan asimilarlos para producir AGV (ácidos: acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico, valérico y caproico), dióxido de carbono, hidrógeno, etanol y lactato (Meegoda et al., 2018; Parra-Ortiz et al., 2019). En la tercer etapa, las bacterias acetogénicas generan acetato y, en menor medida, hidrógeno; finalmente, durante la última etapa, los microorganismos metanogénicos consumen los compuestos resultantes de la fase anterior para producir metano (Bajpai, 2017).

3 ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES

Los AGV son ácidos carboxílicos alifáticos de cadena corta (de 2 a 6 átomos de carbono), que se forman como intermediarios durante el proceso de digestión anaerobia (DA) durante la etapa acidogénica (Triviño et al., 2021). Los AGV son: los ácidos acéticos, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico, valérico y caproico. Su producción se puede promover acortando el tiempo de reacción para evitar la producción de metano, aumentando el pH a 8.0 o por debajo de 6.0 para inhibir el crecimiento de metanógenos en la producción de metano (Atasoy et al., 2018).

Los AGV tienen aplicaciones industriales en los sectores farmacéutico, alimentario, químico y energético, así como también, en el tratamiento de aguas residuales (Triviño et al., 2021). Las especies que más utilizan en el proceso de producción AGV de base biológica son *Propionibacterium freudenreichii*, *Propionibacterium acidipropionici*, *Propionibacterium thoenii*, *Propionibacterium shermanii*, y *Propionibacterium jensenii* (Atasoy et al., 2018). Los factores que intervienen en la producción de los AGV se describen a continuación.

3.1 EFECTO DEL pH

Los microorganismos que producen AGV pueden trabajar en un intervalo de pH amplio, esto dependiendo del tipo de residuo utilizado como sustrato en el proceso, no obstante, a pH muy ácido o muy alcalino se inhibe su crecimiento y capacidad fermentativa (Gameiro et al., 2016). Adicional a lo anterior, durante la DA el pH sufre una desestabilización que puede afectar el proceso, debido a la producción y acumulación de ácidos, por lo que como principio básico se recomienda el ajuste del

pH a un intervalo óptimo de entre 6 y 8, con NaOH, si así lo requiriera (Poveda Londoño, 2021).

De acuerdo con estudios realizados por Jiang et al. (2013) a un pH de entre 5.25 y 11 se puede obtener una producción significativa de AGV a partir de residuos alimentarios, aguas residuales y lodos residuales. Aunque la composición de los AGV producidos depende principalmente de la composición de los sustratos, cualquier cambio en los valores de pH también puede controlar el tipo y concentración de AGV producidos a partir de la fermentación acidogénica (Khan et al., 2016). De manera particular, estudios que emplearon diversos residuos orgánicos indican que se puede obtener mayor producción de ácido propiónico a pH 4, mientras que a pH 6 existe más presencia de ácido acético y butírico, aunque fue a pH 6 que hubo un aumento del 7.5% de AGV respecto al pH 4 (Lee et al., 2014; Wang et al., 2014).

3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura es otro factor para la producción de AGV considerar debido a que está fuertemente ligada al crecimiento microbiano y por ende a la biosíntesis de metabolitos, una temperatura cercana a 37 °C es óptima para organismos mesófilos, los más usados. Sin embargo, en condiciones termofílicas se puede producir hasta diez veces más AGV que bajo condiciones mesófilas (Triviño et al., 2021). De igual manera, la temperatura también interviene en el tipo de AGV que se podría obtener, al aumentar la temperatura el porcentaje de ácido butírico es mayor mientras que la cantidad de ácidos acético y valérico disminuyen (Stein et al., 2017).

3.3 EFECTO DEL SUSTRATO Y TIEMPO DE RETENCIÓN

La biosíntesis de AGV a partir de residuos orgánicos ofrece una alternativa eficiente y sostenible para el tratamiento de residuos, la producción de AGV y su composición depende de varios factores, otro de los más importantes es el sustrato. Debido a las múltiples aplicaciones industriales y energéticas que pueden tener los AGV se debe considerar que el sustrato a elegir sea asequible, biodegradable, así como también, rico en carbono (Gameiro et al., 2016).

Por consiguiente, los estiércoles y los residuos orgánicos provenientes del desperdicio alimentario pueden considerarse como materia prima potencial

para la fermentación, aunado a que aproximadamente un tercio de los alimentos producidos a nivel mundial se desperdicia (Dahiya et al., 2015). Algunos otros sustratos también han sido probados, entre los que destacan: las aguas residuales y lodos provenientes de diferentes tipos de industrias como la de alimentos, mataderos, papel, entre otras, las cuales, cumplen con las características básicas para llevar a cabo la digestión, es decir, que cuentan con una cantidad adecuada de materia orgánica y nutrientes (Poveda Londoño, 2021).

Con base en lo reportado por Wu et al. (2016), en términos generales los tiempos de retención menores de 8 días son favorables para bacterias acidógenas y mayor a 8 días es favorable para las metanogénicas. Aunque esto depende principalmente de la tasa de hidrólisis del sustrato, de acuerdo con Atasoy et al. (2018) la concentración más alta de AGV se logra después de 15 días. Contrariamente, Khan et al. (2016) postulan que el tiempo de retención solo es beneficioso para la producción de AGV hasta cierto valor, la prolongación de esta solo será responsable de la acumulación de AGV.

4 EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR MEDIO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La producción de AGV por medio de la DA se divide en dos partes: la fermentación y extracción. No tiene sentido producir por medio de la fermentación AGV si no se pueden extraer. Pese a ello, la recuperación de AGV es la parte más desafiante, más aún si se tiene planeado recuperarlos por separado (Zacharof y Lovitt, 2013). Esto se debe a que los AGV biosintetizados permanecen disueltos en el digestato, a diferencia del biogás o el hidrógeno que se pueden recolectar del espacio de cabeza del biorreactor. La extracción de AGV se puede llevar a cabo utilizando métodos químicos o basados en membranas (Khan et al., 2016); a continuación, se mencionan algunos ejemplos:

La extracción por filtración se basa en un transporte de masa de una mezcla líquida o gaseosa a través de barreras porosas, también conocidas como membranas. No obstante, debido a la dimensión de los poros, en algunos casos, no es suficiente la fuerza de la gravedad para vencer la resistencia hidráulica de la barrera, por lo que se emplean distintas presiones que favorecen el proceso. De acuerdo con un estudio realizado por Londoño (2021) este es el método más utilizado para la extracción de AGV debido a su costo y eficiencia, aunque recomienda previo a ello la centrifugación del digestato.

Otra opción es por electrodiálisis, este es un procedimiento

que utiliza membranas selectivas de iones para aislar iones cargados en una solución, cuando se crea una diferencia de voltaje entre dos electrodos (Scoma et al., 2016).

Otras técnicas de extracción son la microfiltración y la ultrafiltración, estos sistemas garantizan una alta densidad celular en los biorreactores. Sin embargo, estos métodos de recuperación por membrana requieren estrategias para reducir el ensuciamiento inminente causado por los materiales suspendidos en el medio de fermentación, para garantizar una operación prolongada (Longo et al., 2015).

En otros estudios González et al. (2005) probaron diferentes metodologías para la recuperación de los AGV. Las técnicas analizadas por ellos fueron: liofilización, extracción con solventes y "headspace" o espacio de cabeza. Para la liofilización y extracción con solvente se tomó 1 mL de muestra, la liofilización la realizaron a una temperatura de -40 °C y a presión de 0.003 mbar, por 24 horas. Los AGV fueron extraídos con metanol, posteriormente centrifugados y analizados por cromatografía de gases. Por su parte, la extracción con solventes se llevó a cabo con dicloro metano, n-heptano, diétil éter y diisopropil éter. Para ello, se tomó 1 mL de muestra, luego se congeló a -18 °C y se analizó la fase orgánica por cromatografía de gases bajo las siguientes condiciones: temperatura del horno, 140 °C; temperatura del inyector, 250 °C, temperatura del detector, 270 °C; presión de entrada en la columna, 1.5 psi; flujo volumétrico del gas portador (Helio), 5 mL/min y razón de dilución, 50. Finalmente, la headspace se ejecutó añadiendo 0.5 mL H₂SO₄ a la muestra de 5 mL a la que inmediatamente se analizó su fase gaseosa.

Finalmente, para llevar a cabo la cuantificación de los AGV, el método más empleado es la cromatografía de gases, esta es una técnica analítica que se emplea para determinar la composición de una mezcla de diferentes productos químicos, además el cromatógrafo de gases utiliza diversos gases en su operación. Este consta de un equipo detector de ionización de llama y una columna capilar. Las variables de esta técnica son el gas acarreador, las temperaturas de las columnas, del puerto de inyección y el detector (Lim et al., 2008). Estas variables presentan diferencias por lo que es recomendable comparar varios autores para determinar los estándares a seguir.

5 CONCLUSIONES

Actualmente existe una alta disponibilidad de residuos orgánicos que pueden ser empleados para la biosíntesis de metabolitos, como los AGV. No obstante, para eficientizar estos procesos biológicos, como la digestión anaerobia, se deben optimizar varios factores operativos, incluidos la selección del sustrato, la temperatura, el pH y el tiempo de retención hidráulico. Lo anterior permitirá en algún futuro cercano escalar esta tecnología y con ello remplazar la

obtención AGV por vías petroquímicas. Aunque para ello, será necesario realizar más investigaciones al respecto.

5 CONCLUSIONES

Actualmente existe una alta disponibilidad de residuos orgánicos que pueden ser empleados para la biosíntesis de metabolitos, como los AGV. No obstante, para eficientizar estos procesos biológicos, como la digestión anaerobia, se deben optimizar varios factores operativos, incluidos la selección del sustrato, la temperatura, el pH y el tiempo de retención hidráulico. Lo anterior permitirá en algún futuro cercano escalar esta tecnología y con ello remplazar la obtención AGV por vías petroquímicas. Aunque para ello, será necesario realizar más investigaciones al respecto.

6 BIBLIOGRAFÍA

Anukam, A., Mohammadi, A., Naqvi, M., & Granström, K. (2019). A Review of the Chemistry of Anaerobic Digestion: Methods of Accelerating and Optimizing Process Efficiency. *Processes*, 7(8), Art. 8.

Atasoy, M., Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2018). Bio-based volatile fatty acid production and recovery from waste streams: Current status and future challenges. *Bioresource Technology*, 268, 773–786.

Bajpai, P. (2017). Basics of Anaerobic Digestion Process. En *Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry* (pp. 7–12). Springer.

Bigarelli Ferreira, M., Vetroni Barros, M., Ramos Huarachi, D. A., & Moro Piekarski, C. (2019). *Biogás en la agroindustria y sus oportunidades para la Economía Circular*.

Dahiya, S., Sarkar, O., Swamy, Y. V., & Venkata Mohan, S. (2015). Acidogenic fermentation of food waste for volatile fatty acid production with co-generation of biohydrogen. *Bioresource Technology*, 182, 103–113.

Gameiro, T., Lopes, M., Marinho, R., Vergine, P., Nadais, H., & Capela, I. (2016). Hydrolytic-Acidogenic Fermentation of Organic Solid Waste for Volatile Fatty Acids Production at Different Solids Concentrations and Alkalinity Addition. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(10), 391.

González E, G., Roeckel vonB, M., Sanhueza M, V., Vargas A., D., & Aspé L., E. (2005). Medición de ácidos grasos volátiles mediante la degradación anaerobia de un vertido salino. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 6(1), 1–5.

Jiang, J., Zhang, Y., Li, K., Wang, Q., Gong, C., & Li, M. (2013). Volatile fatty acids production from food waste: Effects of pH, temperature, and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 143, 525–530.

Khan, M. A., Ngo, H. H., Guo, W. S., Liu, Y., Nghiem, L. D.,

Hai, F. I., Deng, L. J., Wang, J., & Wu, Y. (2016). Optimization of process parameters for production of volatile fatty acid, biohydrogen and methane from anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 219, 738–748.

Lee, W. S., Chua, A. S. M., Yeoh, H. K., & Ngoh, G. C. (2014). A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids. *Chemical Engineering Journal*, 235, 83–99.

Lim, S.-J., Kim, B. J., Jeong, C.-M., Choi, J., Ahn, Y. H., & Chang, H. N. (2008). Anaerobic organic acid production of food waste in once-a-day feeding and drawing-off bioreactor. *Bioresource Technology*, 99(16), 7866–7874.

Longo, S., Katsou, E., Malamis, S., Frison, N., Renzi, D., & Fatone, F. (2015). Recovery of volatile fatty acids from fermentation of sewage sludge in municipal wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*, 175, 436–444.

Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 34(1), 35–48.

Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K., & Wang, L. B. (2018). A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), Art. 10.

Parra-Ortiz, D. L., Botero-Londoño, M. A., & Botero-Londoño, J. M. (2019). Biomasa residual pecuaria: Revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), Art. 1.

Pena Lema, J. (2021). Estudio bibliográfico sobre la codigestión de lodo de depuradora con residuos orgánicos para la producción de ácidos grasos volátiles. *Universidade da Coruña*.

Poveda Londoño, G. (2021). Revisión sistemática de metodologías de extracción, cuantificación y parámetros operativos en la digestión anaerobia para la obtención de ácidos grasos en la fase acidogénica a partir de residuos orgánicos y/o lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Universidad Católica de Manizales*.

Scoma, A., Varela-Corredor, F., Bertin, L., Gostoli, C., & Bandini, S. (2016). Recovery of VFAs from anaerobic digestion of dephenolized Olive Mill Wastewaters by Electrodialysis. *Separation and Purification Technology*, 159, 81–91.

Stein, U. H., Wimmer, B., Ortner, M., Fuchs, W., & Bochmann, G. (2017). Maximizing the production of butyric acid from food waste as a precursor for ABE-fermentation. *Science of The Total Environment*, 598, 993–1000.

Triviño Pineda, J. S. T., Yolanda Reyes, C., & Sánchez Ramírez, J. E. S. (2021). Subproductos generados en el tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos dentro del concepto de biorrefinería: Una revisión sistemática. *Ingeniería y Región*, 25, 60–74.

Wang, K., Yin, J., Shen, D., & Li, N. (2014). Anaerobic digestion of food waste for volatile fatty acids (VFAs) production with different types of inoculum: Effect of pH. *Bioresource Technology*, 161, 395–401.

Wu, Q.-L., Guo, W.-Q., Zheng, H.-S., Luo, H.-C., Feng, X.-C., Yin, R.-L., & Ren, N.-Q. (2016). Enhancement of volatile fatty acid production by co-fermentation of food waste and excess sludge without pH control: The mechanism and microbial community analyses. *Bioresource Technology*, 216, 653–660.

Zacharof, M.-P., & Lovitt, R. W. (2013). Complex Effluent Streams as a Potential Source of Volatile Fatty Acids. *Waste and Biomass Valorization*, 4(3), 557–581.

