

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

Avances en Ingeniería Química

Vol. 2, No. 1



ENCUENTRO NACIONAL DE LA AMIDIQ

Investigación e industria: inclusión, retos y oportunidades
para la Ingeniería Química en México

Memorias del XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Bahías de Huatulco, Oaxaca, del 30 de mayo al 02 de junio de 2023

AVANCES EN INGENIERÍA QUÍMICA

Vol. 2, No. 1

Memorias del XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ

“Investigación e industria: inclusión, retos y oportunidades
para la Ingeniería Química en México”

AVANCES EN INGENIERÍA QUÍMICA, Vol. 2. No. 1, junio 2023, es una publicación anual de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. Canarias 704, Col. Portales, Delegación Benito Juárez, C.P. 03300, Ciudad de México, México. Tel. 3338464060. Página electrónica de la publicación: <https://amidiq.com/avances-en-ingenieria-quimica/> y dirección electrónica: avancesiq@amidiq.com. Editor responsable: Dr. Jorge Ramón Robledo Ortíz. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título 04- 2021-080511192500-102, ISSN 2683-2925, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsables de la última actualización de este número: Dr. Jorge Ramón Robledo Ortíz, Dra. Nelly Ramírez Corona, Dr. Fernando Israel Gómez Castro, Dra. Sara Núñez Correa, Dra. Aida Alejandra Pérez Fonseca, Dra. Adela Irmene Ortiz López Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. Canarias 704, Col. Portales, Delegación Benito Juárez, C.P. 03300, Ciudad de México, México. Fecha de última actualización: 22 de agosto del 2023. Tamaño del archivo: 164 MB.

IDENTIFICACIÓN DE FLUORÓFOROS DE ORIGEN MICROBIANO DURANTE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE COCINA

*Sergio Alcaraz-Ibarra ^{*a}, Mario Esparza-Soto ^a, Mercedes Lucero-Chávez ^a, María del Carmen Jiménez-Moleón ^a,
Miroslava Mier-Quiroga ^a, Cheikh Fall ^a*

^a Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Ixtlahuaca km. 14.5, Toluca, Estado de México, 50120, MÉXICO. *salcarazi@uaemex.mx

Resumen

En esta investigación, se evaluó el desempeño de cinco digestores anaerobios durante la codigestión anaerobia de residuos orgánicos de cocina y lodo de purga concentrado de un sistema de tratamiento de agua residual de origen alimenticio. Los digestores fueron operados con cinco tiempos de retención hidráulico (40 a 120 d) y se evaluó la eficiencia de remoción de sólidos volátiles (ER_{SV}), el rendimiento específico de metano (REM) y la presencia de fluoróforos a través de espectrofotometría de fluorescencia. El REM fue de 0.20 – 0.27 L_{CH_4}/gSV_{agr} , mientras que la ER_{SV} fue de 60 – 68 %. El REM es comparable con los resultados reportados en la literatura para la digestión anaerobia de una amplia gama de residuos orgánicos en rangos de temperatura mesofílica y termofílica, lo que sugiere que la digestión anaerobia a baja temperatura puede generar una ganancia neta de energía superior. Se identificaron fluoróforos de origen proteico, así como ácidos húmicos y fúlvicos, resultado de la actividad microbiana dentro del digestor. Su identificación permite establecer las posibles repercusiones de este tipo de materia orgánica que puede contaminar suelo y agua subterránea.

Introducción

Los residuos orgánicos de cocina (ROC) son precursores de la formación de lixiviados en los rellenos sanitarios. Por ello, es necesario proponer alternativas de disposición in-situ de estos residuos para evitar que lleguen a los tiraderos de basura donde, al mezclarse con el agua de lluvia, promueven su lixiviación y una posible contaminación del agua subterránea. Una alternativa es la digestión anaerobia (DA), durante la cual se genera materia orgánica disuelta (MOD) como resultado del proceso biológico de degradación. La MOD puede identificarse por medio de la espectrofotometría de fluorescencia (EF), la cual se ha empleado para caracterizar los diferentes subproductos intermediarios de las reacciones biológicas en los procesos de DA. Esto ha permitido establecer la secuencia de degradación de cada elemento presente en la MOD, investigar los cambios en las características químicas de la MOD durante los procesos de DA y proveer información sobre la estabilidad y fertilidad de los efluentes de los sistemas de DA [1].

Metodología

Se construyeron y operaron cinco digestores (D1 – D5) de escala laboratorio de 11 L. Se alimentaron con una mezcla de ROC (65%) y lodo de purga concentrado (LPC) (35%). Los ROC consistieron en diez componentes entre frutas, verduras y productos cárnicos. Para la preparación del sustrato ROC se mezclaron los diez componentes en partes iguales (10 % en peso) tomando como base un kilogramo de residuos. Todos los componentes fueron licuados con 500 mL de agua potable y se reservó la mezcla hasta ser utilizada. El LPC se obtuvo de un reactor de lodos activados (RLA) que trató agua residual de origen industrial alimenticio. Para obtener el sustrato LPC, se purgaron diariamente 20 L de licor mixto del RLA. La purga se dejó sedimentar por un día y se extrajo el sobrenadante. Finalmente, el lodo concentrado se hizo pasar a través de un filtro de tela para eliminar la mayor cantidad de humedad. De esta manera, el LPC se logró concentrar hasta 10

veces de su concentración inicial. Los sustratos ROC y LPC fueron licuados en la proporción indicada (65 % y 35 %, respectivamente) y alimentados a los digestores diariamente con diferentes caudales, obteniendo así cinco tiempos de retención hidráulico (TRH) (40 – 120 d). Los digestores se operaron a 20 °C y diariamente se midieron sólidos totales volátiles del influente y efluente, así como producción y porcentaje de metano en el biogás.

Para la caracterización de la MOD, se colectaron 24 muestras compuestas semanales del influente y efluente de los digestores. Las muestras fueron centrifugadas para separar la fracción líquida, la cual se filtró al vacío con filtros de fibra de vidrio. Se diluyeron las muestras a 10 mg/L de demanda química de oxígeno soluble con agua desionizada y se acidificaron con 0.02 mL de ácido sulfúrico concentrado. Las muestras fueron analizadas inmediatamente para evitar posibles cambios en la MOD. Para el análisis espectrofotométrico de fluorescencia se realizaron matrices de excitación-emisión en 3D (MEE-3D) con un espectrofotómetro de fluorescencia (modelo LS-55, Perkin Elmer, EUA) controlado con el software FL-WINLAB. Las MEE-3D se obtuvieron siguiendo las indicaciones de Esparza-Soto et al. [2] y consistieron en 45 escaneos de emisión (de 250 a 600 nm) colectados en un rango longitudes de onda de excitación de 200 a 420 nm con incrementos de 5 nm. El ancho de las aberturas para la excitación y emisión se fijaron en 10 nm. La velocidad de escaneo se fijó en 1500 nm/min.

Resultados

La **Tabla 1** muestra los resultados de los parámetros de eficiencia de los digestores. La ER_{sv} y el REM son comparables con valores obtenidos durante DA a temperatura mesofílica y termofílica [3], lo que supone una ganancia neta de energía superior al no requerir energía de calentamiento para incrementar la temperatura del digestor (20 °C) a temperaturas superiores (35 o 55 °C).

Tabla 1. Parámetros de eficiencia de los digestores

Parámetro	D1 40 d	D2 60 d	D3 80 d	D4 100 d	D5 120 d
^a ER_{sv} , %	59.9	63.2	62.5	65.1	68.3
^b REM, L_{CH_4}/gSV_{agr}	0.20	0.25	0.25	0.25	0.27
^c % CH_4	64.5	66.0	66.4	66.5	66.7

^a ER_{sv} = Eficiencia de remoción de sólidos volátiles; ^b REM = rendimiento específico de metano; ^c % CH_4 = porcentaje de metano en el biogás

En la **Figura 1** se muestran las MEE-3D de las muestras del influente y efluentes de los cinco digestores (D₁ a D₅). Los picos A y B corresponden al aminoácido triptófano [4], el cual se encuentra presente en las proteínas vegetales y animales del sustrato ROC. Los picos A y B se detectaron en las 24 muestras semanales analizadas del influente. Los picos C y D corresponden a ácidos húmicos y fúlvicos, respectivamente, los cuales fueron aportados por el sustrato LPC y que se atribuyen a los productos microbianos solubles (PMS). En este caso, los picos C y D solamente fueron detectados en 13 muestras del influente. Durante la operación del RLA, el tiempo de retención de sólidos fue disminuyendo gradualmente, de manera que disminuyó la edad de los lodos. De esta manera, se redujo el aporte de los PMS y por ello dejaron de ser detectados en las muestras del influente.

Para el caso de las muestras del efluente, se observó la presencia de los picos E y F, que corresponden al aminoácido tirosina y que, al no estar presentes en el influente, se puede deducir que corresponden a productos del metabolismo microbiano (PSM), generados durante el proceso de DA. Sin embargo, en las muestras del efluente también se observó la presencia de los picos A y B, principalmente como hombros. En este caso, los picos A y B pudieron corresponder tanto a MOD del influente sin degradar, como a PMS's. En algunos casos se presentó la superposición de

picos, lo que impidió establecer la intensidad de fluorescencia máxima de cada pico individual. El pico G, el cual incrementa considerablemente su intensidad de fluorescencia (IF) de manera proporcional al incremento del TRH (y, por ende, su concentración) se atribuye directamente a un PMS, pues solamente se encuentra presente en las muestras del efluente de los digestores. Este fluoróforo ha sido pobremente reportado en la literatura [5]. Sin embargo, por su ubicación, se puede atribuir a un ácido fúlvico [4]. Los picos C y D también incrementaron su IF proporcionalmente al TRH, lo que indica que la MOD se volvió más refractaria y, por lo tanto, menos biodegradable.

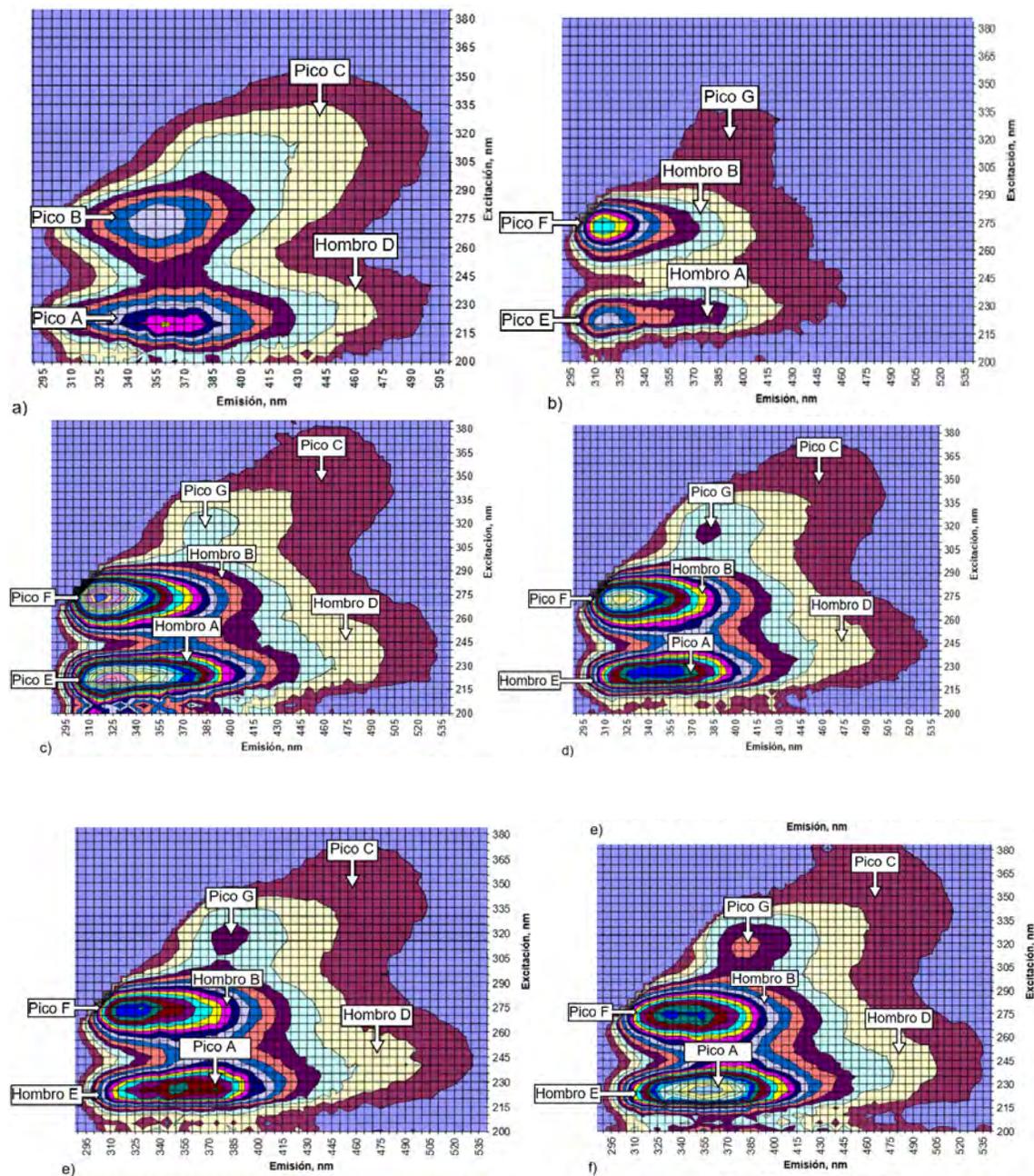


Figura 1. MEE-3D para las muestras de: a) influente; b) efluente D1 40 d; c) efluente D2 60 d; d) efluente D3 80 d; e) efluente D4 100d; y f) efluente D5 120 d

Conclusiones

El REM obtenido en los digestores anaerobios (0.20 a $0.27 \text{ L}_{\text{CH}_4}/\text{gSV}_{\text{agr}}$) fue comparable con REM reportados durante la DA mesofílica y termofílica. Esto puede significar una ganancia neta de energía superior en la DA a baja temperatura al no requerir calor para incrementar la temperatura de los digestores.

La evaluación por EF del influente y efluente de los digestores indica la presencia de aminoácidos (triptófano y tirosina), tanto del sustrato (proteínas animales y vegetales) como de los PMS's. Los resultados del análisis de EF permiten establecer una perspectiva de la dinámica de los microorganismos anaerobios dentro de cada digestor. Es importante observar la presencia de estas sustancias ya que su complejidad puede dificultar su tratamiento y pueden convertirse en materia orgánica refractaria que podría contaminar cuerpos de agua subterráneos si llegan a ser lixiviados en los tiraderos de basura.

Referencias

1. Qu, H., Guo, X., Chen, Y., Dai, B., He, J., y Zhu, D., "Characterization of Dissolved Organic Matter from Effluents in a Dry Anaerobic Digestion Process Using Spectroscopic Techniques and Multivariate Statistical Analysis", *Waste and Biomass Valorization*, Vol. 8, p. 793-802, 2017.
2. Esparza-Soto, M., Núñez-Hernández, S., y Fall, C., "Spectrometric characterization of effluent organic matter of a sequencing batch reactor operated at three sludge retention times", *Water Research*, Vol. 45(19), p. 6555-6563, 2011.
3. Nguyen, D.D., Chang, S.W., Cha, J.H., Jeong, S.Y., Yoon, Y.S., Lee, S.J., Tran, M.C. y Ngo, H.H., "Dry semi-continuous anaerobic digestion of food waste in the mesophilic and thermophilic modes: New aspects of sustainable management and energy recovery in South Korea", *Energy Conversion and Management*, Vol. 135, p. 445-452. 2017.
4. Chen, W., Westerhoff, P., Leenheer, J.A. y Booksh, K., "Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter", *Environmental Science and Technology*, Vol. 37, p. 5701-5710, 2003.
5. Zheng, W., Lü, F., Phoungthong, K., y He, P., "Relationship between anaerobic digestion of biodegradable solid waste and spectral characteristics of the derived liquid digestate", *Bioresource Technology*, Vol. 161, p. 69-77, 2014.