

Anammox: un tratamiento sustentable para el agua residual de rastros

Sergio Reyes-Rosas ^{1*}, Alejandro Alvarado-Lassman ², Óscar Marín-Peña ³, Ofelia Landeta-Escamilla ², Erik Samuel Rosas-Mendoza ² y Juan Manuel Méndez-Contreras ²

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Km 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, Zongolica 95005, Veracruz, México.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México.

³ Estancia Posdoctoral SECIHTI (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación) Tecnológico Nacional de México/ITS de Misantla, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: sergio_reyes_pd0225@zongolica.tecnm.mx; Tel.: +522721251205

Artículo de divulgación científica

Recibido: 7 de junio de 2025 Aceptado: 12 de julio de 2025 Publicado: 24 de julio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.482>

Resumen: El tratamiento de aguas residuales generadas en rastros representa un desafío ambiental significativo, debido a su alta carga de nitrógeno y materia orgánica. Tradicionalmente, se han utilizado procesos de nitrificación-desnitrificación para remover el nitrógeno, pero estos implican altos costos energéticos, uso de productos químicos y generación de lodos. En este contexto, el proceso Anammox (oxidación anaerobia de amonio) surge como una alternativa biotecnológica innovadora, eficiente y sustentable. Este artículo explora las características del proceso Anammox y su aplicación en el tratamiento de efluentes de rastros. Se analizan casos exitosos, las principales ventajas frente a tecnologías convencionales, y los desafíos técnicos actuales, como la sensibilidad a compuestos tóxicos y la retención de biomasa. Asimismo, se destacan las perspectivas futuras del proceso, incluyendo el desarrollo de sistemas híbridos y la optimización de condiciones operativas. A través de una revisión de literatura científica reciente (2021-2025), se concluye que el proceso Anammox puede transformar el tratamiento de aguas residuales en rastros, al reducir el consumo energético, las emisiones y los residuos. Su implementación contribuye a una industria alimentaria más responsable con el medio ambiente y alineada con los principios de la sostenibilidad y la economía circular.

Palabras clave: aguas residuales de rastro; remoción de nitrógeno; oxidación anaerobia de amonio

Introducción

Los rastros, esenciales en la cadena alimentaria, generan diariamente grandes volúmenes de aguas residuales con altas concentraciones de nitrógeno, principalmente en forma de amonio. Este tipo de efluente, si no se trata adecuadamente, puede provocar eutrofización en cuerpos de agua, emisión de gases de efecto invernadero y riesgos sanitarios para las comunidades cercanas (Mofijur *et al.*, 2021; Rivera-Castellanos *et al.*, 2023; Dos Santos Pereira *et al.*, 2024; Marín-Peña *et al.*, 2024). Tradicionalmente, el tratamiento de estas aguas ha dependido de procesos biológicos convencionales como la nitrificación-desnitrificación, los cuales requieren altos insumos energéticos y la adición de fuentes externas de carbono, elevando los costos operativos y la huella ambiental de las plantas de tratamiento (Zhang *et al.*, 2019; Gholami-Shiri *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2022).

En este contexto, el proceso Anammox (Oxidación Anaerobia de Amonio) emerge como una alternativa innovadora y sostenible para la remoción de nitrógeno. Este proceso biológico, descubierto en la década de 1990, permite la conversión directa de amonio y nitrito en nitrógeno gaseoso bajo condiciones anaerobias, sin necesidad de oxígeno ni de fuentes externas de carbono. Además, el proceso Anammox consume hasta un 60% menos de oxígeno y produce aproximadamente un 90% menos de lodos en comparación con los métodos tradicionales (Wu *et al.*, 2022; Magrí & Lotti, 2023; Witkabel & Abendroth *et al.*, 2024).

Estudios recientes han demostrado la viabilidad del proceso Anammox en el tratamiento de aguas residuales de rastros. Por ejemplo, la integración de la nitrificación parcial seguida de Anammox ha logrado eficiencias de remoción de nitrógeno total superiores al 84% en efluentes con altas cargas de nitrógeno y bajas relaciones carbono/nitrógeno (Miao *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020; Silveira *et al.*, 2021; Al-Hazmi *et al.*, 2022; Al-Hazmi *et al.*, 2023; Tong *et al.*, 2023; Parde *et al.*, 2024; Preetham *et al.*, 2024). Estos resultados indican que el proceso Anammox no solo es eficiente en la remoción de nitrógeno, sino que también es adaptable a las características específicas de las aguas residuales generadas en los rastros.

Este artículo tiene como objetivo explorar el potencial del proceso Anammox como una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales de rastros. Se abordarán las características de estas aguas, los principios fundamentales del proceso Anammox, su aplicación en contextos reales y las perspectivas futuras para su implementación a gran escala.

Desarrollo

El problema del agua residual en rastros

Los rastros, fundamentales en la industria alimentaria, generan diariamente grandes volúmenes de aguas residuales con una composición compleja (Figura 1). Estas aguas contienen altos niveles de materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, sólidos suspendidos, grasas, aceites y microorganismos patógenos. Su origen proviene de diversas actividades, incluyendo el lavado de animales, escaldado, limpieza de instalaciones y equipos, y procesamiento de subproductos (Aziz *et al.*, 2019; Mofijur *et al.*, 2021; Zanol *et al.*, 2024).



Figura 1. Aguas residuales de rastros vertidas en arroyos sin tratamiento previo.
Fuente: Marín-Peña *et al.*, (2024)

La carga contaminante de estas aguas es significativa. Estudios han reportado concentraciones elevadas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (FT), superando en muchos casos los límites permitidos para descarga en cuerpos de agua (Tabla 1). Además, la presencia de productos químicos utilizados en la limpieza puede alterar los ecosistemas acuáticos, poniendo en peligro la vida de peces y plantas.

Tabla 1. Contaminantes en efluentes de rastro

Referencias	pH	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	NT (mg/L)	NH ₄ ⁺ – N (mg/L)	PT (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)
Bustillo-Lecompte <i>et al.</i> , 2017	6.5	5,000	3,000	----	450	----	50	----
Saghir & Hajjar, 2022	6.60 ± 0.21	5,350.01 ± 1,401.01	3,891.01 ± 909.01	----	----	326.02 ± 62.01	----	119.03 ± 24.04
Rivera-Castellanos <i>et al.</i> , 2023	6.88 ± 0.15	9,718.50 ± 1,716.41	762.43 ± 733.57	9,685.25 ± 3,942.86	838.00 ± 682.00	223.98 ± 193.98	----	64.00 ± 56.00
Marín-Peña <i>et al.</i> , 2023	7.8	5,880	3 050	2 360	494.83	----	30.15	----
Marín-Peña <i>et al.</i> , 2024	7.51 ± 0.29	5,880.00 ± 2,590.00	3,050.00 ± 1,180.00	2,360.00 ± 1,140.00	494.83 ± 143	----	----	----

El impacto ambiental de la descarga inadecuada de estas aguas es considerable. La acumulación de nutrientes como nitrógeno y fósforo en cuerpos de agua puede provocar eutrofización, caracterizada por un crecimiento excesivo de algas que consume el oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. Además, la presencia de patógenos representa un riesgo para la salud pública, especialmente en comunidades cercanas a los puntos de descarga (dos Santos Pereira *et al.*, 2024). Los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales en rastos incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones, como alta demanda energética, generación de lodos en grandes cantidades y necesidad de adición de productos químicos. Por ejemplo, los procesos de lodos activados requieren aireación intensiva, lo que incrementa los costos operativos (Dan *et al.*, 2021). Además, la eficiencia en la remoción de nutrientes puede ser insuficiente, especialmente en efluentes con altas cargas orgánicas y relaciones bajas de carbono/nitrógeno.

Ante estos desafíos, es necesario explorar alternativas de tratamiento más sostenibles y eficientes. Una de estas alternativas es el proceso Anammox, que permite la remoción de nitrógeno de manera más eficiente y con menor consumo energético, representando una solución prometedora para el tratamiento de aguas residuales en rastos.

¿Qué es el proceso Anammox?

El proceso Anammox es una ruta biológica descubierta en la década de 1990, que permite la conversión directa de amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-) en nitrógeno gaseoso (N_2) bajo condiciones anaerobias, es decir, sin la presencia de oxígeno (Figura 2).

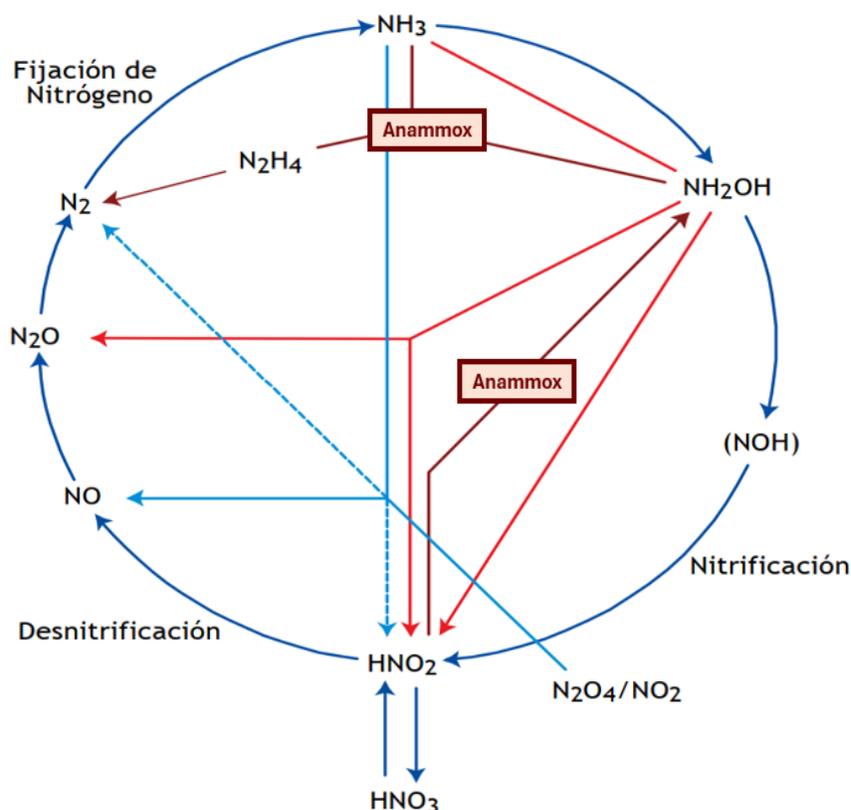


Figura 2. Rutas de Anammox en el Ciclo Global del Nitrógeno
Adaptado de López Vázquez *et al.* (2017).

Este proceso es llevado a cabo por bacterias del grupo *Planctomycetes*, conocidas como bacterias Anammox, que utilizan el nitrito como aceptor de electrones y el amonio como donador, generando como producto final nitrógeno molecular y agua (Magrí & Lotti, 2023) (véase Figura 3, donde se muestran los gránulos característicos de biomasa Anammox).



Figura 3. Gránulos de ANAMMOX en reactores de tratamiento de aguas residuales
Fuente: Driessen & Hendrickx (2021)

A diferencia de los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, que requieren etapas separadas de nitrificación y desnitrificación, el proceso Anammox combina estas etapas en una sola, reduciendo significativamente el consumo de energía y la necesidad de añadir fuentes externas de carbono. Además, produce menos lodos residuales, lo que disminuye los costos asociados a su manejo y disposición (Al-Hazmi *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022).

En el contexto de los rastros, donde las aguas residuales presentan altas concentraciones de amonio y una baja relación carbono/nitrógeno, el proceso Anammox se presenta como una solución eficiente y sostenible para la eliminación de nitrógeno, contribuyendo a la protección del medio ambiente y al cumplimiento de las normativas de descarga.

Aplicación del proceso Anammox en rastros

La implementación del proceso Anammox en rastros ha demostrado ser una solución eficaz y sostenible para el tratamiento de aguas residuales con alta carga de nitrógeno. Este proceso ha sido aplicado con éxito en diversas instalaciones, mejorando la eficiencia del tratamiento y reduciendo los costos operativos. Un estudio realizado por Silveira *et al.* (2021) evaluó un sistema de dos etapas que combina la nitrificación parcial y el proceso Anammox para el tratamiento de aguas residuales de subproductos de rastros. Este enfoque permitió una eliminación eficiente del nitrógeno, alcanzando tasas de remoción superiores al 90%. La clave del éxito radicó en el control estricto de la nitrificación parcial, logrando concentraciones de nitrito y amonio cercanas a la proporción estequiométrica ideal para el proceso.

Además, una revisión de Driessen & Hendrickx (2021) destaca la experiencia acumulada durante dos décadas en la aplicación del proceso Anammox basado en lodos granulares. Este enfoque ha demostrado ser resistente a variaciones en la composición del agua residual y ha mantenido un rendimiento estable en plantas a escala real, incluyendo aquellas que tratan efluentes industriales ricos en nitrógeno, como los provenientes de rastros. La implementación del proceso Anammox en rastros no solo mejora la eficiencia en la eliminación de nitrógeno, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de energía y la generación de lodos. Estos beneficios hacen del proceso Anammox una opción atractiva para modernizar las plantas de tratamiento de aguas residuales en la industria cárnica.

Ventajas del proceso Anammox frente a métodos tradicionales

El proceso Anammox ha emergido como una alternativa eficiente y sostenible frente a los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, siendo especialmente útil en instalaciones como los rastros, donde las aguas contienen altas concentraciones de nitrógeno y una baja relación carbono/nitrógeno.

A diferencia de los procesos tradicionales de nitrificación-desnitrificación, que requieren una aireación intensiva para oxidar el amonio a nitrato, Anammox opera en condiciones anaerobias, eliminando la necesidad de oxígeno y permitiendo una reducción del consumo energético de hasta un 65% en los costos de aireación (Al-Hazmi *et al.*, 2023).

Además, este proceso no requiere la adición de fuentes externas de carbono, como metanol, ya que utiliza el amonio como donador de electrones y el nitrito como aceptor, lo que reduce los costos operativos y minimiza la generación de subproductos no deseados (Singh *et al.*, 2022). Otra ventaja relevante es la drástica disminución en la generación de lodos, que puede ser hasta del 90% en comparación con los métodos convencionales, lo que representa menores costos y desafíos en el manejo y disposición de estos residuos (Deng *et al.*, 2025). Asimismo, Anammox contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y los óxidos de nitrógeno (N₂O), gracias a su operación sin oxígeno ni carbono externo (Ponce-Jahen *et al.*, 2024). Finalmente, las bacterias responsables del proceso han demostrado una notable capacidad de adaptación ante variaciones en la composición del agua residual, incluyendo cambios en temperatura, salinidad y carga orgánica, lo que hace de Anammox una tecnología especialmente adecuada para tratar aguas residuales complejas y variables como las de origen pecuario (Cho *et al.*, 2020).

Desafíos y perspectivas futuras del proceso Anammox en rastros

A pesar de los avances y beneficios del proceso Anammox en el tratamiento de aguas residuales de rastros, su implementación a gran escala enfrenta varios desafíos técnicos y operativos.

Desafíos actuales

El proceso Anammox, a pesar de sus múltiples ventajas, también presenta ciertas limitaciones que deben considerarse al implementarse en el tratamiento de aguas residuales de rastros. Una de las principales desventajas es la sensibilidad de las bacterias Anammox a compuestos tóxicos presentes en este tipo de aguas, como sulfuros, metales pesados y antibióticos, los cuales pueden inhibir su actividad metabólica y reducir significativamente la eficiencia del sistema (Cho *et al.*, 2020). Además, en algunos casos se ha observado la acumulación de nitrato como resultado de la actividad de bacterias oxidantes de nitrito (NOB), lo que interfiere con la eficiencia global del proceso Anammox al desviar parte del nitrito necesario para la reacción principal (Al-Hazmi *et al.*, 2023). Otro desafío importante es la retención de biomasa, ya que las bacterias Anammox tienen una tasa de crecimiento extremadamente baja, lo que dificulta mantener una concentración adecuada de biomasa activa en el reactor y puede comprometer la estabilidad y el rendimiento del sistema en el largo plazo (Trinh *et al.*, 2021).

Perspectivas futuras

Para superar las limitaciones del proceso Anammox y potenciar su aplicación en el tratamiento de aguas residuales complejas como las de rastros, se están desarrollando diversas estrategias tecnológicas y operativas. Una de ellas es la implementación de sistemas híbridos que combinan Anammox con tecnologías complementarias, como la desnitrificación parcial, lo cual permite mejorar la eficiencia en la eliminación de nitrógeno y reducir la acumulación de nitrato generada por la actividad de bacterias oxidantes de nitrito (Rudithongru *et al.*, 2024). Asimismo, se están llevando a cabo investigaciones orientadas a la optimización de las condiciones operativas, ajustando variables clave como la temperatura, el pH y la relación carbono/nitrógeno, con el objetivo de maximizar la actividad de las bacterias Anammox y reducir el impacto de compuestos inhibidores (Cho *et al.*, 2020). Otro enfoque importante es la adaptación del proceso a diferentes escenarios, explorando su capacidad para operar eficazmente bajo condiciones variables de carga orgánica, presencia de tóxicos y fluctuaciones propias de las aguas residuales generadas en rastros, lo que ampliaría su aplicabilidad en contextos reales y exigentes (Rudithongru *et al.*, 2024).

Conclusiones

El proceso Anammox se consolida como una alternativa innovadora y sostenible para el tratamiento de aguas residuales con alta carga de nitrógeno, como las generadas en los rastros. Su capacidad para operar en condiciones anaerobias, sin requerir oxígeno ni fuentes externas de carbono, lo posiciona como una solución eficiente frente a los procesos tradicionales de nitrificación-desnitrificación. La evidencia científica más reciente demuestra que el proceso Anammox puede alcanzar eficiencias de remoción de nitrógeno superiores al 90%, reduciendo además el consumo energético y la producción de lodos en más de un 60%. Esto representa una contribución significativa tanto en términos económicos como ambientales para la industria cárnica y el tratamiento de sus efluentes. A pesar de sus múltiples ventajas, la implementación del proceso Anammox a gran escala aún enfrenta retos técnicos, como la sensibilidad a

inhibidores presentes en el agua residual, la acumulación de nitrato o la baja velocidad de crecimiento de las bacterias involucradas. No obstante, los avances en biotecnología, diseño de reactores y control de condiciones operativas permiten vislumbrar un futuro prometedor para esta tecnología. Anammox representa no solo una alternativa viable para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas en rastros, sino también un paso firme hacia una gestión más sostenible de los recursos hídricos en la industria alimentaria. Su adopción progresiva podría contribuir significativamente a la reducción del impacto ambiental, el cumplimiento normativo y la transición hacia modelos productivos más circulares.

Bibliografía

- Al-Hazmi, H. E., Maktabifard, M., Grubba, D., Majtacz, J., Hassan, G. K., Lu, X., & Mąkinia, J. (2023). An advanced synergy of partial denitrification-anammox for optimizing nitrogen removal from wastewater: A review. *Bioresource Technology*, *381*, 129168. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129168>
- Al-Hazmi, H. E., Hassan, G. K., Maktabifard, M., Grubba, D., Majtacz, J., & Mąkinia, J. (2022). Integrating conventional nitrogen removal with anammox in wastewater treatment systems: Microbial metabolism, sustainability and challenges. *Environmental research*, *215*, 114432. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114432>
- Aziz, A., Basheer, F., Sengar, A., Khan, S. U., & Farooqi, I. H. (2019). Biological wastewater treatment (anaerobic-aerobic) technologies for safe discharge of treated slaughterhouse and meat processing wastewater. *Science of the total environment*, *686*, 681-708. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.295>
- Bustillo-Lecompte, C., & Mehrvar, M. (2017). Slaughterhouse wastewater: treatment, management and resource recovery. *Physico-chemical wastewater treatment and resource recovery*, 153-174. <http://dx.doi.org/10.5772/65499>
- Cho, S., Kambey, C., & Nguyen, V. K. (2020). Performance of Anammox Processes for Wastewater Treatment: A Critical Review on Effects of Operational Conditions and Environmental Stresses. *Water*, *12*(1), 20. <https://doi.org/10.3390/w12010020>
- Dan, N. H., Phe, T. T. M., Thanh, B. X., Hoinkis, J., & Le Luu, T. (2021). The application of intermittent cycle extended aeration systems (ICEAS) in wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, *40*, 101909. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101909>
- Deng, Z., Sun, C., Ma, G., Zhang, X., Guo, H., Zhang, T., & Kong, Z. (2025). Anaerobic treatment of refractory industrial organic wastewater: A review of bioenergy recovery and low-carbon nitrogen removal toward carbon neutrality. *Journal of Water Process Engineering*, *72*, 107515. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107515>
- dos Santos Pereira, A. K., Teixeira, K. C., Pereira, D. H., & Cavallini, G. S. (2024). A critical review on slaughterhouse wastewater: Treatment methods and reuse possibilities. *Journal of Water Process Engineering*, *58*, 104819. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104819>
- Driessen, W., & Hendrickx, T. (2021). Two decades of experience with the granular sludge-based anammox[®] process treating municipal and industrial effluents. *Processes*, *9*(7), 1207. <https://doi.org/10.3390/pr9071207>
- Gholami-Shiri, J., Azari, M., Dehghani, S., & Denecke, M. (2021). A technical review on the adaptability of mainstream partial nitrification and anammox: substrate management and aeration control in cold weather. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(6), 106468. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106468>
- Li, J., Li, J., Peng, Y., Wang, S., Zhang, L., Yang, S., & Li, S. (2020). Insight into the impacts of organics on anammox and their potential linking to system performance of sewage partial nitrification-anammox (PN/A): A critical review. *Bioresource Technology*, *300*, 122655. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122655>
- López Vázquez, C. M., Buitrón Méndez, G., A. García, H., & Cervantes Carrillo, F. J. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Magrí, A., & Lotti, T. (2023). Special Issue on "Anammox-Based Processes for Wastewater Treatment". *Processes*, *11*(5), 1422. <https://doi.org/10.3390/pr11051422>
- Marín-Peña, O., Alvarado-Lassman, A., Alvarado-Vallejo, A., Sandoval-Herazo, M., Hernández-Castelán, D. A., Zamora-Castro, S. A., & Sandoval Herazo, L. C. (2024). Evaluation of a pilot-scale anaerobic biofilm reactor for the treatment of slaughterhouse effluents in rural areas. *Water Practice & Technology*, *19*(9), 3706-3720. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.234>
- Miao, Y., Peng, Y., Zhang, L., Li, B., Li, X., Wu, L., & Wang, S. (2018). Partial nitrification-anammox (PNA) treating sewage with intermittent aeration mode: Effect of influent C/N ratios. *Chemical Engineering Journal*, *334*, 664-672. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.072>
- Mofijur, M., Fattah, I. R., Kumar, P. S., Siddiki, S. Y. A., Rahman, S. A., Ahmed, S. F., & Mahlia, T. M. I. (2021). Bioenergy recovery potential through the treatment of the meat processing industry waste in Australia. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(4), 105657. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105657>
- Parde, D., Behera, M., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2024). A review on anammox processes: Strategies for enhancing bacterial growth and performance in wastewater treatment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *191*, 105812. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105812>
- Ponce-Jahen, S. J., Cercado, B., Estrada-Arriaga, E. B., Rangel-Méndez, J. R., & Cervantes, F. J. (2024). Anammox with alternative electron acceptors: perspectives for nitrogen removal from wastewaters. *Biodegradation*, *35*(1), 47-70. <https://doi.org/10.1007/s10532-023-10044-3>
- Preetham, V., Saidulu, D., Tiwary, C. S., & Gupta, A. K. (2024). Enhancement of simultaneous nitrification denitrification (SND) and simultaneous nitrification-anammox-denitrification (SNAD) via 3D printed carriers: Insights into critical factors, functional microbes, and potential solutions. *Journal of Cleaner Production*, *458*, 142520. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142520>
- Rivera-Castellanos, J., Marín-Peña, O., Reyes, Z. M. J., Sandoval-Herazo, M., Nani, G., González-Moreno, H. R., & Sandoval-Herazo, L. C. (2023). Wastewater management from municipal slaughterhouses in Mexico: Quantities produced, existing legislation, treatment processes applied and future challenges. *Renewable energy, biomass & sustainability*, *5*(2), 12-23. <https://doi.org/10.56845/rebs.v5i2.84>

- Silveira, N. C., Oliveira, G. H. D., Damianovic, M. H. R. Z., & Foresti, E. (2021). Two-stage partial nitrification-Anammox process for nitrogen removal from slaughterhouse wastewater: Evaluation of the nitrogen loading rate and microbial community analysis. *Journal of Environmental Management*, 296, 113214. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113214>
- Singh, V., Ormeci, B., Mishra, S., & Hussain, A. (2022). Simultaneous partial Nitrification, ANAMMOX and denitrification (SNAD) – A review of critical operating parameters and reactor configurations. *In Chemical Engineering Journal*, 433, 133677. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133677>
- Rudithongru, L., & Jamir, L. (2024). Standard techniques for preservation of anammox biomass. In *Anammox Process* (pp. 187-211). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19209-8.00003-X>
- Tong, S., Zhao, Y., Li, J., Wei, J., & Li, J. (2023). Advanced removal of organics and nitrogen in upgraded anaerobic-aerobic slaughterhouse wastewater treatment process. *Desalination and Water Treatment*, 308, 80-89. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29940>
- Trinh, H. P., Lee, S. H., Jeong, G., Yoon, H., & Park, H. D. (2021). Recent developments of the mainstream anammox processes: challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105583. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105583>
- Witkabel, P., & Abendroth, C. (2024). A systematic literature review of microbial anammox consortia in UASB/EGSB-reactors. *Chemosphere*, 367, 143630. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143630>
- Wu, P., Chen, J., Garlapati, V. K., Zhang, X., Jenario, F. W. V., Li, X., & Zhang, X. (2022). Novel insights into Anammox-based processes: A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 444, 136534. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136534>
- Zanol, M. B., Lima, J. P. P., Assemany, P., & Aguiar, A. (2024). Assessment of characteristics and treatment processes of wastewater from slaughterhouses in the state of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 358, 120862. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120862>
- Zhang, M., Wang, S., Ji, B., & Liu, Y. (2019). Towards mainstream deammonification of municipal wastewater: Partial nitrification-anammox versus partial denitrification-anammox. *Science of the Total Environment*, 692, 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.293>