





Lixiviados de residuos orgánicos municipales y bioprocesos para su tratamiento

<https://doi.org/10.25009/pc.v1i4.102>



Vanessa Sánchez Fernández, zs20007529@estudiantes.uv.mx, Ingeniería en Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana.

Dr. Miguel Ángel Martínez Jardines, rebelito_mikel@hotmail.com, Posdoctorante CONAHCYT, Inbioteca, Universidad Veracruzana.

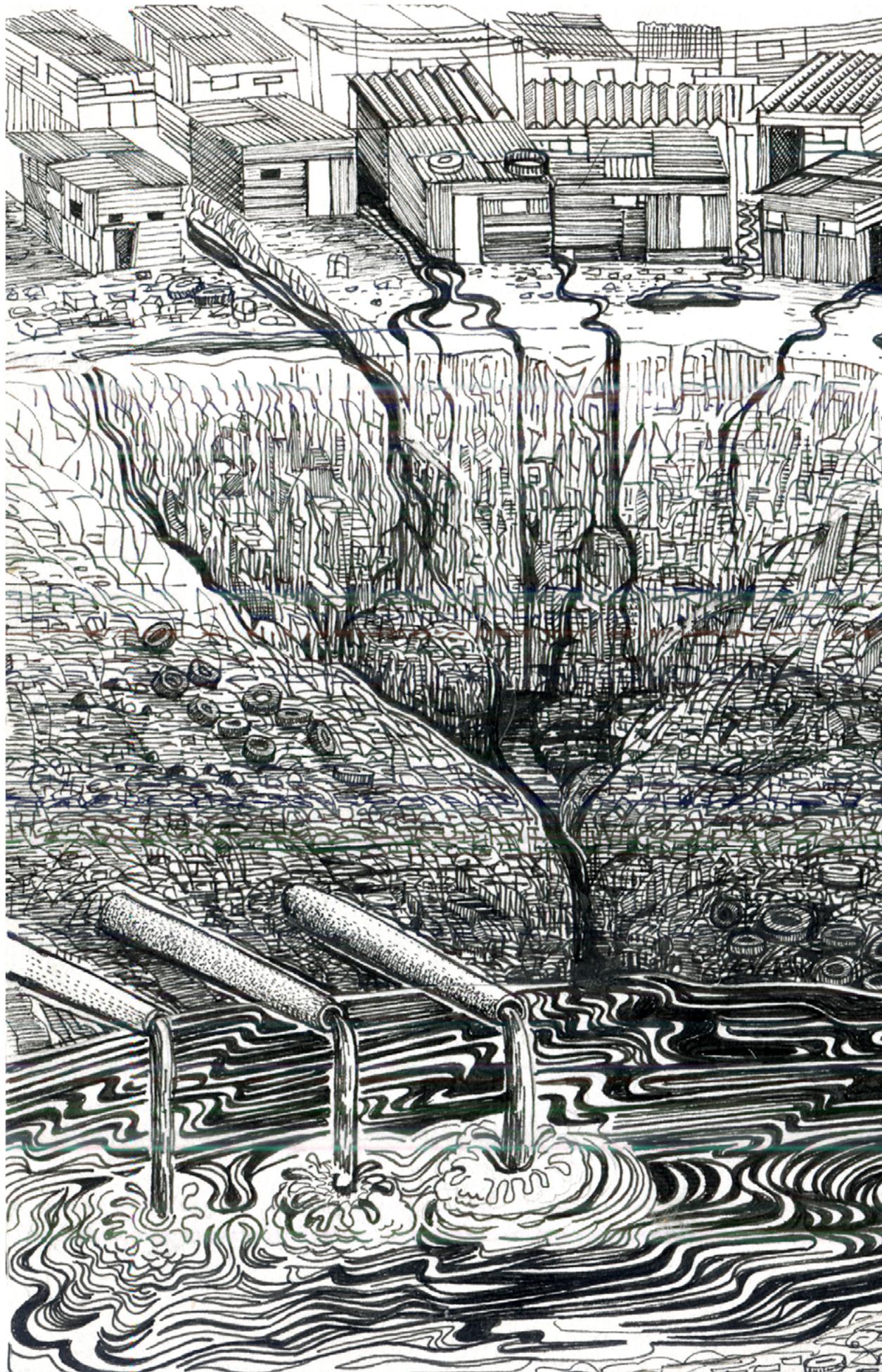
Dr. Sergio Martínez Hernández, sermartinez@uv.mx, Inbioteca, Universidad Veracruzana. Autor por correspondencia.

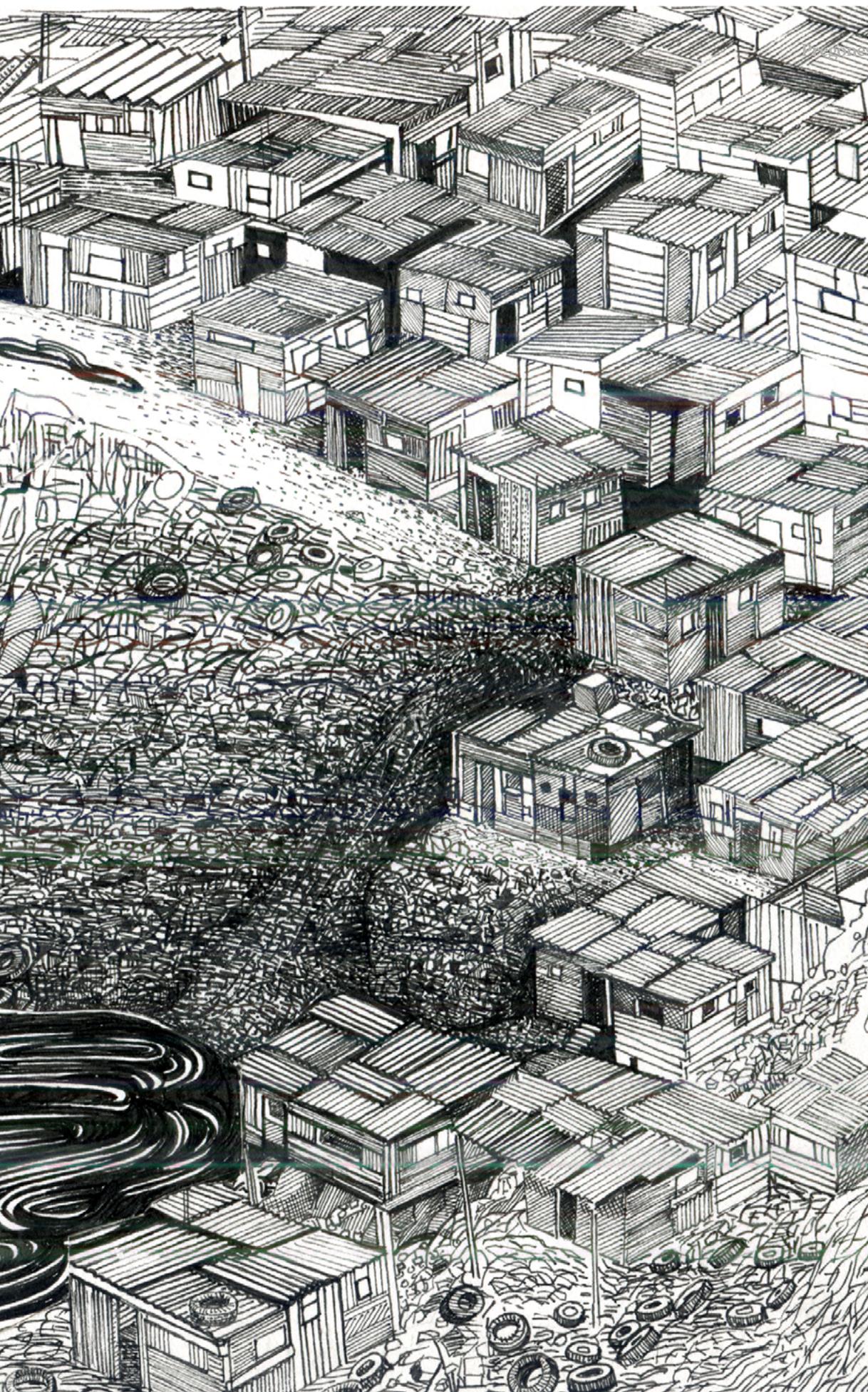
Resumen: En este artículo aprenderás sobre los residuos orgánicos municipales, sus lixiviados y por qué te debe preocupar su existencia. Te adentraremos en la historia del ciclo nitrógeno. Aprenderás sobre los diminutos organismos nitrificantes y desnitrificantes que mantienen en su lugar a los lixiviados y cómo nos auxilian en la creación de alternativas innovadoras y sustentables.

Palabras clave: Residuos orgánicos municipales, lixiviados, nitrógeno, organismos nitrificantes, organismos desnitrificantes.

Abstract: In this article, you will learn about municipal organic waste, its leachate, and why you should be concerned about its existence. We will take you into the history of the nitrogen cycle. You will learn about the tiny nitrifying and denitrifying organisms that keep leachate in place and how they help us create innovative and sustainable alternatives.

Keywords: Municipal organic waste, leachates, nitrogen, nitrifying organisms, denitrifying organisms.





En el mundo, diariamente, se generan miles de toneladas de residuos que, al paso de los años, ha ido en aumento, como consecuencia de las crecientes necesidades de la sociedad. En su mayoría, los residuos son liberados al ambiente sin ser clasificados, generando enormes problemas. Entre estos residuos destacan los residuos sólidos urbanos (RSU) y entre estos, su fracción orgánica. El compostaje es una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos. Durante este proceso se generan lixiviados, líquidos contaminantes con un alto impacto ambiental negativo. En este artículo, analizaremos cómo algunos procesos biológicos pueden ser usados como una herramienta para afrontar la problemática ambiental asociada con los lixiviados de los residuos orgánicos municipales.

El origen de la problemática: lixiviados de los residuos orgánicos municipales

Poniéndonos en perspectiva, la problemática ocasionada al medio ambiente por los lixiviados resalta por las cantidades colosales de basura que se desechan día con día. Tan sólo en México, se generan entre 120-128 toneladas de RSU por día; en Veracruz la cifra alcanza alrededor de 7,800 toneladas y en la ciudad de Xalapa se estima una producción de 400 toneladas diarias, de las cuales el 58% corresponden a residuos orgánicos. Casi la totalidad de los RSU en Xalapa terminan en el relleno sanitario municipal y solamente entre el 5%-10% llega a un centro de compostaje municipal aledaño a la central de abastos de la ciudad (Moreno Quirós, 2022) (Figura 1).

En México, se generan entre 120-128 toneladas de RSU por día; en Veracruz la cifra alcanza alrededor de 7,800 toneladas.

Figura 1. Pila de residuos orgánicos para en el Centro de Compostaje de la ciudad de Xalapa, Veracruz.
Fuente: autoría propia.







El centro de compostaje de Xalapa recibe residuos orgánicos procedentes del Mercado Jáuregui, del Mercado Alcalde y García, y de la Central de Abastos. Estos residuos se componen de todo tipo de verduras y frutas como tomate, papaya, naranja, limón, sandía, hortalizas, etc. Además, incluyen hojas y ramas provenientes los trabajos de podas de los parques y jardines de la ciudad, como los emblemáticos Parque Juárez, el Parque de los Berros o el Parque de los Sauces.

En el centro de compostaje, el establecimiento de pilas (de residuos) y las diferentes labores de su proceso, se realizan al aire libre. El proceso de compostaje, inicia con la entrada de camiones recolectores llenos de residuos orgánicos para descargarlos y formar una pila sobre una explanada de cemento. Al lado de esta, suele encontrarse otra pila formada por ramas trituradas y hojas secas que regularmente se ocupa para cubrir la pila que contiene los residuos orgánicos (Figura 2). Una vez cubierta la pila, empieza la primera etapa del proceso que dura alrededor de 4 semanas. Esta se voltea periódicamente, utilizando maquinaria pesada y agregando hojarascas para mantener la humedad y porosidad adecuadas.

Figura 2. Hojas secas implementándose como cubierta protectora de las pilas de compostaje en el Centro de Compostaje de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Fuente: autoría propia.

Posteriormente, la pila se traslada a otra explanada aledaña donde permanecerá durante un intervalo de entre 4 y 6 meses. Este periodo se considera el de mayor actividad de los microorganismos para llevar a cabo la descomposición de los residuos orgánicos. No obstante, los trabajos en campo muestran que durante esta fase aún se encuentran diversos residuos inorgánicos como botellas, hilos, bolsas o envases de plástico o de unicel que suelen afectar al producto final, por lo que es necesario realizar actividades de tamizado. Todo el producto final, considerado como abono, resultado del proceso de compostaje, se destina principalmente para ser usado en los parques y jardines de la ciudad, y como donación para agricultores de la región.

La generación de los lixiviados comienza desde la colecta de los residuos orgánicos municipales. Durante la descarga de los camiones recolectores, estos empiezan a escurrir y juntos con los generados de las pilas de compostaje, son almacenados en un depósito subterráneo de recolección (Figura 3).

¿Qué son los lixiviados de composta y cómo nos perjudican?

Los lixiviados de composta se originan con la descomposición de los residuos orgánicos, donde intervienen factores como el calor, la humedad y el aire. La descomposición genera un líquido amarillento oscuro, cuyos componentes pueden ser altamente tóxicos para suelos y cuerpos de agua. En los hogares, es fácil reconocer a los lixiviados: es el líquido, a veces maloliente, que escurre debajo de las bolsas de basura orgánica cuando las almacenamos temporalmente hasta la llegada del camión recolector.

Los lixiviados contienen carbono, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, además de otros componentes

que funcionan como nutrientes para las plantas, pero que en grandes cantidades se vuelven tóxicos (Chatterjee *et al.*, 2013). En los lixiviados predomina la presencia de materia orgánica, pero también compuestos ricos en nitrógeno, como el amonio.

El efecto perjudicial de los lixiviados radica en su composición y en su alta concentración de nitrógeno y materia orgánica, lo que causa daños al medio ambiente.

Sabiendo esto, los lixiviados presentan composiciones muy variables que van a depender de los tipos de residuos, de su exposición a factores ambientales como las lluvias e incluso del tiempo que llevan generados. De acuerdo con la edad, los lixiviados se pueden clasificar en jóvenes, maduros y viejos. Los jóvenes presentan una considerable biodegradabilidad que disminuye al convertirse en maduros y viejos, por lo que surge la necesidad de buscar alternativas de tratamiento para cada tipo de lixiviado. Lo anterior, con el propósito de realizar una gestión adecuada para minimizar su impacto al ambiente.



De desechos a recursos con el tratamiento de lixiviados

Para el tratamiento de los lixiviados, se deben tener en cuenta diversos aspectos tales como su procedencia, su composición y su edad (Youcai, 2018). En este contexto, los lixiviados engloban varios tipos de contaminación y representan una amenaza para el suelo de los alrededores, tierras de cultivo, aguas superficiales y acuíferos.

Las alternativas para su tratamiento se pueden clasificar en tratamientos fisicoquímicos y biológicos. Los primeros suelen ser efectivos y, como su nombre indica, combinan principios físicos y químicos para modificar estructuralmente los elementos contaminantes, reduciendo o minimizando su impacto ambiental. Además de sus beneficios, se deben considerar ciertas desventajas como la generación de residuos secundarios y el alto costo que requiere su gestión. Además, algunos métodos requieren un gran consumo de energía y sustancias químicas que pueden tener posibles impactos ambientales (Di Maria & Sisani, 2017).

Los tratamientos biológicos son una alternativa más viable, pues su costo de operación es relativamente menor, requieren de niveles bajos de energía y son más amigables con el medio ambiente. Los tratamientos biológicos, según sea el caso, se basan en el uso de organismos o microorganismos, que utilizan la materia orgánica y el nitrógeno de los lixiviados como fuente de alimento para transformarla en compuestos menos tóxicos para el ambiente.

Tratamiento biológico: las bacterias del ciclo del nitrógeno

Una de las claves para abordar la problemática del manejo de los lixiviados radica en el rei-

no microbiano. Diversos microorganismos, entre ellos bacterias y hongos, tienen la capacidad de descomponer compuestos tóxicos presentes en los lixiviados y transformarlos en productos menos perjudiciales. Este enfoque biológico no solo es eficaz, sino también sostenible, al aprovechar los procesos naturales para resolver problemas ambientales.

En el fascinante mundo microbiano, existen aquellos que están relacionados con el ciclo del nitrógeno, un elemento vital en nuestro planeta, que pueden ser usados con alternativas biológicas de tratamiento. En este ciclo, participan diversos tipos de microorganismos que transforman y reciclan el nitrógeno en sus diferentes formas dentro de los ecosistemas, por lo que se consideran una valiosa herramienta para mitigar la problemática ambiental planteada.

Al igual que el agua, el nitrógeno también experimenta un ciclo por los diversos compartimentos de la Tierra, en el que se transforma en diferentes estados de agregación. Este proceso es influenciado por diversos factores bióticos, como plantas y microorganismos, y factores abióticos, como la temperatura, la humedad y el pH. A grandes rasgos, el ciclo del nitrógeno abarca las etapas de fijación, amonificación, asimilación, nitrificación y desnitrificación.

El ciclo del nitrógeno: la historia

En la historia del nitrógeno las bacterias juegan un papel crucial. La etapa inicial se refiere a la fijación, donde un grupo de microorganismos forman alianzas simbióticas con las raíces de algunas espe-



cies de plantas. Dentro de sus responsabilidades está convertir el nitrógeno del aire, es decir, el nitrógeno gaseoso (N_2) en formas orgánicas útiles para las plantas y demás seres vivos; a cambio, consiguen protección contra el oxígeno, pues estos microorganismos son conocidos por no llevarse bien con este elemento.

La historia continúa con la amonificación, donde las diminutas criaturas descomponen la materia orgánica como ningún otro organismo lo puede hacer, liberando amonio. La etapa de asimilación se refiere a la incorporación de las formas orgánicas del nitrógeno en otros seres vivos como plantas y animales. No obstante, los productos o desechos de estos son utilizados nuevamente por los microorganismos descomponiéndolos nuevamente en amonio, para volver a la amonificación.

En el siguiente acto, entran en escena las *bacterias nitrificantes*, la nitrificación, que se caracterizan por emplear oxígeno del ambiente para respirar. Estas transforman el amonio en nitrito y luego en nitrato, forjando un extraordinario intercambio biológico. El nitrato producido se vuelve moneda de cambio en el trueque de nutrientes entre las bacterias y las plantas. El relato cierra con la aparición de las bacterias desnitrificantes, la desnitrificación, que, en oposición a las bacterias nitrificantes, operan en ausencia de oxígeno, tomando el nitrato para transformarlo en N_2 , liberándolo en el aire y cerrando el ciclo.

Como se puede observar en esta interesante historia, la mente maestra son los microorganismos, que evitan la acumulación excesiva del nitrógeno en la tierra. Aquí debemos decir que investigaciones recientes han puesto al descubierto la participación de nuevos procesos o nuevos microorganismos dentro del ciclo del nitrógeno, pero esta historia será contada en otro capítulo.

Por medio de procesos biológicos como la nitrificación y desnitrificación se pueden disminuir los problemas ambientales ocasionados por el amonio y la materia orgánica de los lixiviados.

Nitrificación y desnitrificación

La nitrificación y desnitrificación han sido aprovechadas por el humano como sistemas de tratamientos biológicos de diversos residuos. La nitrificación se lleva a cabo en dos pasos donde varios grupos de bacterias vuelven a ser relevantes. En el primer paso, las bacterias como *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus* metabolizan el amonio en nitrito; en el segundo paso, bacterias como *Nitrobacter* y *Nitrospira* lo transforman en nitrato.

El complemento al proceso, para convertir el nitrato en compuestos inócuos como el N_2 , puede ser realizado por la desnitrificación. Este proceso se lleva a cabo por diversos géneros bacterianos como *Pseudomonas*, *Alcaligenes* y *Thiobacillus*, entre otras. El uso secuencial de estos procesos podría ser utilizado en el tratamiento de lixiviados con el objetivo de transformar o disminuir las altas concentraciones de nitrógeno en forma de amonio.

Aliados microbianos en la transformación de lixiviados, un ejemplo de caso de estudio

En el Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA) de la Universidad Veracruzana en la ciudad de Xalapa, se están investigando los procesos de nitrificación y desnitrificación, entre otros, para el tratamiento de lixiviados de los residuos orgánicos municipales.

Los estudios se están realizando empleando unidades experimentales denominadas reactores biológicos o bioreactores, en los cuales se busca replicar las condiciones ambientales donde habitan naturalmente los microorganismos. En los reactores se mantienen consorcios bacterianos, mejor conocidos como lodos microbianos, que son alimentados con los lixiviados. Estos son manejados bajo ciertas condiciones fisicoquímicas que buscan favorecer el predominio de microorganismos nitrificantes o desnitrificantes, según sea el caso. Sin embargo, encontrar las mejores condiciones no es una tarea fácil y requiere de mucho trabajo de investigación.

Un estudio reciente del INBIOTECA abordó la asociación de los procesos nitrificantes y desnitrificantes en el tratamiento de lixiviados. En el estudio se empleó un reactor de lotes secuenciado (SBR) y un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para llevar a cabo un proceso secuencial nitrificante-desnitrificante. Las concentraciones iniciales de amonio y de DQO



en el reactor SBR fueron de hasta 75 y 6000 mg/L, respectivamente. Durante el tratamiento de lixiviados, el SBR alcanzó una eficiencia de remoción de amonio del 99% y eficiencias de remoción de materia orgánica del 82%. El reactor RAFA alcanzó eficiencias de remoción de nitrato del 81% y eficiencias de remoción de materia orgánica del 97%.

En este estudio, también se analizó la comunidad microbiana, mediante técnicas de biología molecular, encontrando géneros bacterianos como *Nitrospira*, *Nitrosomonas* y *Pseudomonas*. Como resultado de la investigación se logró la remoción de hasta 99% de amonio y 98% de materia orgánica, por lo que podría considerarse como una alternativa para el tratamiento de lixiviados de residuos orgánicos municipales.

El Futuro ambiental de los microorganismos: Conclusión y Perspectivas

No cabe duda que los lixiviados de los residuos orgánicos municipales son una amenaza al medio ambiente, por lo que existe la necesidad de crear contramedidas para gestionarlos de manera adecuada y los microorganismos son los principales ayudantes en nuestro trayecto por un planeta con menos contaminación. Aún se siguen desarrollando alternativas para tratar a los lixiviados que indudablemente superarán los obstáculos que presentan los métodos usados actualmente.



¡Lectores! Gracias por acompañarnos en nuestra narración sobre el microcosmo de los ayudantes invisibles en la pelea contra los lixiviados. Esperamos ser la motivación que los llevará a buscar estrategias para detener la lucha contra los lixiviados, que podría empezar desde casa. Así que no olvides el recorrido de los microorganismos para hacer de nuestra Tierra un lugar habitable al que llamar hogar.

Agradecimientos

Departamento de Limpia Pública, H. Ayuntamiento de Xalapa, Veracruz.

Personal del Centro de Compostaje, Departamento de Limpia Pública, H. Ayuntamiento de Xalapa, Veracruz.

XIV Programa de Estancias Intersemestrales de Investigación, convocatoria 2023-2024, Universidad Veracruzana.

CONAHCYT, Proyecto Ciencia de Frontera, CF-2023-I-235.

Referencias

- Chatterjee, N., Flury, M., Hinman, C., & Cogger, C. G. (2013). Chemical and physical characteristics of compost leachates. Reporte de revisión preparado para el Washington State Department of Transportation. Recuperado de <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/819.1.pdf>
- Di Maria, F., & Sisani, F. (2017). A life cycle assessment of conventional technologies for landfill leachate treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 411-422. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.09.002>
- Moreno Quirós, R. C. (2022). Sistema acoplado nitrificación-anammox para remoción de nitrógeno de lixiviados de residuos orgánicos. Universidad Veracruzana.
- Youcai, Z. (2018). Leachate Generation and Characteristics. In *Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste* (pp. 1-30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815813-5.00001-2>