

## Efecto de lixiviados de residuos sólidos orgánicos sobre un lodo nitrificante

Miguel Martínez-Jardines y Sergio Martínez-Hernández \*

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, Culturas Veracruzanas No. 101, Emiliano Zapata, 91090 Xalapa-Enríquez, Ver., México.

\* Autor de correspondencia: [sermartinez@uv.mx](mailto:sermartinez@uv.mx).

**Contaminación de agua, suelo y aire** (Tratamientos biológicos). **Ponencia Presencial.**

Recibido: 16 de junio de 2023

Aceptado: 5 de septiembre de 2023

Publicado: 23 de noviembre de 2023

**Resumen:** Se evaluó el comportamiento fisiológico y cinético de un lodo nitrificante durante y después del tratamiento de lixiviados provenientes de residuos sólidos orgánicos en un reactor SBR y en ensayos en lote. La experimentación se llevó a cabo en un reactor de 3 L con un volumen de trabajo de 2 L. Se operó a 250 rpm, temperatura de 30 °C, pH de 7.5±0.5 y 1.8 g de sólidos suspendidos volátiles/L. Primero, el lodo se operó en condiciones nitrificantes (100 mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L y 250 mg de C-NaHCO<sub>3</sub>/L), posteriormente, el SBR fue alimentado con lixiviados (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 28.50 mg/L y DQO de 5056.97 mg/L). Después del tratamiento de lixiviados, el SBR se regresó a condiciones nitrificantes y se llevaron a cabo ensayos de recuperación nitrificantes (100 mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L y 250 mg de C-NaHCO<sub>3</sub>/L). Después de 3 ciclos de operación en el SBR, la adición de lixiviado no provocó algún efecto negativo sobre el consumo de amonio (oxidación de amonio, EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 99.65%) pero sí sobre la acumulación de nitrito y producción de nitrato (oxidación de nitrito, YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.66). También, se presentó un efecto inhibitorio sobre la actividad nitrito y amonio oxidante (disminución del 94 en la qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y 68% en la qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). En la etapa de recuperación, se presentaron EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>>93% y se recuperó la etapa nitrito oxidante con YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>>0.70. A nivel cinético, el lodo presentó una mayor recuperación de la actividad amonio oxidante en el ensayo en el SBR y una mayor recuperación de la actividad nitrito oxidante en el ensayo en lote, las qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> incrementaron 8.11 y 2.11 veces respectivamente con respecto al ensayo en el SBR con lixiviado. De acuerdo a los resultados es posible el tratamiento de lixiviados mediante lodos nitrificantes, así como su recuperación fisiológica y cinética después de su exposición a estos residuos.

**Palabras clave:** Nitrificación; Inhibición; lixiviados; reactor SBR; recuperación.

## Effect of organic solid waste leachates on a nitrifying sludge

**Abstract:** In this work, the physiological and kinetic behavior of a nitrifying sludge was evaluated during and after the treatment of leachates from organic solid waste in an SBR reactor and in batch tests. The experimentation was carried out in a 3 L reactor with a working volume of 2 L. It was operated at 250 rpm, temperature of 30 °C, pH of 7.5±0.5, and 1.8 g of volatile suspended solids/L. First, the sludge was operated under nitrifying conditions (100 mg of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L and 250 mg of NaHCO<sub>3</sub>-C/L), later, the SBR reactor was fed with leachates (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N of 28.50 mg/L and COD of 5056.97 mg/L). After leachate treatment, the SBR reactor was returned to nitrifying conditions, and nitrifying recovery tests were carried out (100 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L and 250 mg NaHCO<sub>3</sub>-C/L). After 3 cycles of operation in the SBR, the addition of leachate did not provoke any negative effect on ammonium consumption (ammonium oxidation, ENH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N de 99.65%), but it did on nitrite accumulation and nitrate production (nitrite oxidation, YNO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.66). Also, there was an inhibitory effect on nitrite and ammonium oxidizing activity (a decrease of 94% in qNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and 68% in qNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N). In the recovery stage, both assays presented ENH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N>93% and the oxidizing nitrite stage was recovered with YNO<sub>3</sub><sup>-</sup>>0.70. On a kinetic level, the sludge presented a greater recovery of the oxidizing ammonium activity in the SBR test and a greater recovery of the oxidizing nitrite activity in the batch test, the qNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and qNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N increased 8.11 and 2.11 folds, respectively concerning the test in the SBR with leachate. According to the results obtained, it is possible to treat leachate by nitrifying sludge, as well as its physiological and kinetic recovery after exposure to these residues.

**Keywords:** Nitrification; Inhibition; leachates; SBR reactor; recovery.

### Introducción

Hoy en día, el manejo adecuado de los residuos sólidos orgánicos (RSO) se ha convertido en un desafío importante para las sociedades modernas. Estos RSO, provenientes de actividades domésticas, agrícolas e industriales, contienen una alta proporción de materia orgánica que puede generar lixiviados al entrar en contacto con el agua. Los lixiviados son líquidos contaminados en estado de descomposición que contienen una amplia variedad de compuestos orgánicos, nutrientes y microorganismos, que pueden tener impactos significativos en los procesos biológicos involucrados en su tratamiento (Lippi et al., 2018). Los lixiviados presentan una potencial amenaza para el medio ambiente, generalmente

son tóxicos para los ecosistemas que los rodean, la materia orgánica presente puede afectar la actividad microbiana, así como diferentes procesos fisicoquímicos (Baderna et al., 2019).

El tratamiento de los lixiviados es esencial para minimizar su impacto negativo en el medio ambiente y prevenir la contaminación de las fuentes de agua subterránea y superficial. Existen diversas tecnologías y procesos utilizados para el tratamiento de los lixiviados, como los tratamientos Biológicos, Químicos y Fisicoquímicos (Teng et al., 2021). Entre los tratamientos Biológicos se pueden emplear procesos aerobios como la nitrificación, la nitrificación es un proceso fundamental en el medio ambiente y en el tratamiento de lixiviados, se enfoca en la oxidación de compuestos nitrogenados, específicamente la bioconversión de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en dos etapas sucesivas. En una primera etapa (Oxidación de amonio), los microorganismos pertenecientes a bacterias amonio oxidantes (AOB) utilizan el  $\text{NH}_4^+$  como fuente de energía para su metabolismo y, como resultado de esta oxidación, se libera energía y nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). En la segunda etapa (Oxidación de nitrito), los microorganismos pertenecientes a bacterias nitrito oxidantes (NOB) utilizan el nitrito como fuente de energía y lo oxidan en  $\text{NO}_3^-$ . Ambas etapas de la nitrificación se llevan a cabo por bacterias autótrofas, utilizan sustancias inorgánicas como fuente de carbono y requieren de un ambiente con una relación adecuada de oxígeno, pH, temperatura y nutrientes para un crecimiento y actividad óptimos (Hira et al., 2018). Los lixiviados pueden contener altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), materia orgánica en forma biodegradable, así como altas concentraciones de amonio, disolventes, fenoles, metales pesados, sustancias químicas recalcitrantes y sales inorgánicas. Estos contaminantes juegan un papel importante en la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo, y podrían tener efectos negativos sobre el proceso nitrificante (Brennan et al., 2017; Yuan et al., 2016).

Es esencial mantener procesos biológicos estables en condiciones tóxicas o inhibitorias, además es esencial recuperar estos procesos biológicos que han tenido efectos negativos por la presencia de algún contaminante con el propósito de mantener ciclos ambientales estables. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de lixiviados de RSO sobre el comportamiento de un lodo nitrificante en un reactor SBR, analizando el desempeño metabólico y cinético mediante eficiencias de consumo de amonio (E), rendimientos de producción de nitrato (Y), velocidades específicas de consumo y producción (q).

## Materiales y Métodos

### *Ensayos en el reactor SBR*

La experimentación se realizó en un reactor SBR de 3 L de capacidad con un volumen de trabajo (VT) de 2 L. El reactor se inoculó con una concentración de 1.8 g de sólidos suspendidos volátiles (SSV)/L de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Ciudad de Xalapa, Veracruz México. Se operó con una agitación de 250 rpm, temperatura de 30 °C y pH de  $7.5 \pm 0.5$ . Se alimentó con un medio mineral sintético que contenía (g/L):  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.385,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.47,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.56,  $\text{MgSO}_4$  0.4,  $\text{NaCl}$  0.4,  $\text{NaHCO}_3$  3.5 y  $\text{CaCl}_2$  0.02. La concentración inicial de  $\text{NH}_4^+$  fue de 100 mg de  $\text{N-NH}_4^+$ /L y 250 mg de  $\text{C-NaHCO}_3$ /L, además de 0.5 mL de una solución de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (5% v/v), manteniendo la relación C/N en 2.5. La aireación se mantuvo constante por medio de una bomba de pecera de 20 L. Los ciclos de operación se establecieron en 7 días. EL lodo se mantuvo en condiciones nitrificantes durante 4 meses.

Posteriormente, el reactor SBR fue alimentado únicamente con lixiviados (sin suplementos minerales) de forma diluida (usando agua destilada) obtenidos directamente de los camiones recolectores de la fracción orgánica de los RSU, cuando estos llegaban al Centro de Compostaje de la Ciudad de Xalapa, Veracruz México (lixiviado joven), con el fin de establecer concentraciones iniciales de  $\text{NH}_4^+$  y DQO las cuales alcanzaron valores hasta de 28.50 mg de  $\text{N-NH}_4^+$ /L y 5056.97 mg/L, respectivamente. El influente fue suplementado con bicarbonato de sodio para tener una relación C/N de 2.5. Se tomaron periódicamente muestras líquidas para las determinaciones de compuestos nitrogenados ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y DQO. El lodo del reactor SBR se alimentó con lixiviado durante 3 meses en diferentes ciclos de operación.

### *Ensayos de recuperación*

Para observar el efecto del lixiviado que podría prevalecer sobre el lodo nitrificante se llevaron a cabo ensayos de recuperación.

Posteriormente a alimentación de lixiviado en el reactor SBR, el reactor SBR se regresó a condiciones nitrificantes. Las condiciones de operación fueron similares a las indicadas en los ensayos en el reactor SBR sin lixiviado. Se tomaron periódicamente muestras líquidas para las determinaciones de compuestos nitrogenados ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

Además, se llevaron a cabo ensayos de recuperación en lote. Estos ensayos se realizaron al final de la experimentación con el lodo nitrificante utilizado en el tratamiento de lixiviados del reactor SBR. Los ensayos se realizaron en botellas serológicas de 120 mL de capacidad, con medio mineral (50 mL). y  $2.01 \pm 0.1$  g de SSV/L de lodo nitrificante como biomasa previamente lavada con solución fisiológica (8.5 g/L de NaCl). Se adicionó una concentración de 100 mg de N- $\text{NH}_4^+$ /L y se mantuvo una relación C/N de 2.5 de acuerdo al medio empleado en el reactor SBR, además de 0.5 mL de una solución de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (5% v/v). En cada caso, el medio se burbujeó durante 2 minutos con oxígeno (99% de pureza), las botellas se inocularon, se adicionó amonio de acuerdo a cada ensayo, se sellaron herméticamente con un tapón de goma y un anillo de aluminio y se saturó el espacio de cabeza durante 2 minutos más con oxígeno (99% de pureza). El pH inicial del medio fue de  $7.4 \pm 0.2$ . Las botellas se incubaron a 30 °C y se mantuvieron agitadas a 180 rpm. Los ensayos se realizaron por duplicado, se tomaron muestras independientes a diferentes tiempos durante 14 días del cultivo para cuantificar  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

### *Métodos analíticos*

El  $\text{NH}_4^+$  se determinó por medio de un electrodo de ion selectivo marca Cole-Parmer modelo K-27503 conectado a un medidor multiparamétrico marca METTLER TOLEDO model SevenMulti S47. El  $\text{NO}_2^-$  se cuantificó con un kit colorímetro portátil de alto rango (HANNA instruments HI708, Rumania), los reactivos del kit siguen el método de sulfato ferroso en el que la reacción entre el  $\text{NO}_2^-$  y el reactivo provoca un tinte marrón verdoso en la muestra. El  $\text{NO}_3^-$  se analizó mediante el método de nitración del ácido salicílico utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (Shimadzu, UV 1280, Japón) a una absorbancia de 410 nm. El pH se determinó utilizando un electrodo de la marca Thermo Scientific, modelo Orion 8102BNUWP ROSS ULTRA conectado a un medidor multiparamétrico Thermo Scientific modelo Orion Versa Star Advanced Electrochemistry Meter. Los SSV y la DQO se analizaron de acuerdo a métodos estándar (Federation & Association, 2005), este último por el método de reflujo cerrado y espectrofotométrico, utilizando dicromato de potasio como oxidante.

### *Actividad fisiológica*

La actividad fisiológica de los lodos nitrificantes se evaluó en términos de eficiencias de consumo de sustratos ( $E$ , [mg de sustrato consumido/mg sustrato alimentado]×100), rendimientos de producción ( $Y$ , [mg producto/mg sustrato consumido]), también el proceso nitrificante se evaluó cinéticamente por velocidades específicas de consumo de sustratos (N- $\text{NH}_4^+$ , DQO) y generación de producto (N- $\text{NO}_3^-$  ( $q$ , [mg de sustrato o producto/g SSV d]). Las  $q$  se calcularon utilizando el modelo ajustado de Gompertz (Martínez-Jardines et al., 2019).

## **Resultados y Discusión**

### *Efecto de lixiviados sobre el lodo nitrificante*

En la Figura 1a, se muestra un perfil del comportamiento de los compuestos nitrogenados en el ciclo 3 de operación en el reactor SBR alimentado con 100 mg N- $\text{NH}_4^+$ /L. Se presentó un consumo total de amonio en los primeros 5 días de cultivo con una acumulación transitoria de nitrito. La máxima producción de nitrato se obtuvo al final del ensayo. La EN- $\text{NH}_4^+$  fue de 99.08% y el YN- $\text{NO}_3^-$  de 0.95 (Tabla 1), lo que indica que se llevó a cabo una nitrificación completa. Posteriormente, cuando se adicionó lixiviado como medio de cultivo y después de 3 ciclos de operación en el reactor SBR (Figura 1b), se observó un consumo total de amonio en los primeros 5 días de cultivo, similar al ensayo nitrificante sin lixiviado. Se detectó una acumulación de nitrito en el día 2 de cultivo, el nitrito prevaleció y al final del del ensayo se obtuvieron 11 mg N- $\text{NO}_2^-$ /L, después de 7 días se presentó la máxima producción de nitrato (18.61 mg N- $\text{NO}_3^-$ /L). La EN- $\text{NH}_4^+$  fue de 99.65% y el YN- $\text{NO}_3^-$  de 0.66 (Tabla 1), la adición de lixiviado al reactor SBR, no provocó algún efecto negativo sobre el consumo de amonio (oxidación de amonio) pero si sobre la acumulación de nitrito y producción de nitrato (oxidación de nitrito). Aunado a lo anterior el lodo presentó la capacidad de consumir la materia orgánica presente en el lixiviado con eficiencias de consumo de DQO del 80.04%. El efecto negativo de lixiviados sobre proceso

biológicos se ha documentado ampliamente, y se ha aprovechado en promover nitrificación parcial para producir nitrito y en una segunda etapa desnitrificante reducirlo a nitrógeno molecular (Chen et al., 2016; Li et al., 2021<sup>a</sup>).

EL perfil del ensayo de recuperación del lodo nitrificante en el ciclo 3 de operación del reactor SBR se observa en la Figura 1c. Después de 7 días de cultivo, el amonio alimentado se consume totalmente, hay una acumulación de nitrito desde el día uno y al final de la experimentación fue de 10 mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L. Se observó la máxima producción de nitrato de 75.01 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. El consumo de amonio se mantuvo estable con EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> altas del 98.07%, resultados similares se presentaron en los ensayos con lixiviado. También, se obtuvo una recuperación de la etapa nitrito oxidante con YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.85. Con respecto al ensayo en lote de recuperación, el amonio alimentado se consume hasta después de 14 días de cultivo. Se presentó una acumulación de nitrito y al final se detectaron 13.50±3.54 mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L; el amonio oxidado se presentó en forma de nitrato al final del ensayo obteniendo 70.20±5.56 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Figura 1d). La EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fue de 93.51% y el YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.70 (Tabla 1). De acuerdo a lo anterior, el lodo en el SBR presentó una mejor recuperación de la etapa nitrito oxidante, esto se podría deber a que el lodo en el reactor SBR tenía mas tiempo en condiciones nitrificantes (3 ciclos de 7 días cada uno) y el ensayo en lote solo duró 14 días, aunado a esto, el uso de los sistemas SBR favoreció la adaptación y recuperación. Existen estrategias para recuperar la capacidad nitrificante por medio de la adición de microorganismos funcionales (Li et al., 2021<sup>b</sup>). En este estudio no se requirió de ninguna estrategia para recuperar la actividad nitrificante del lodo.

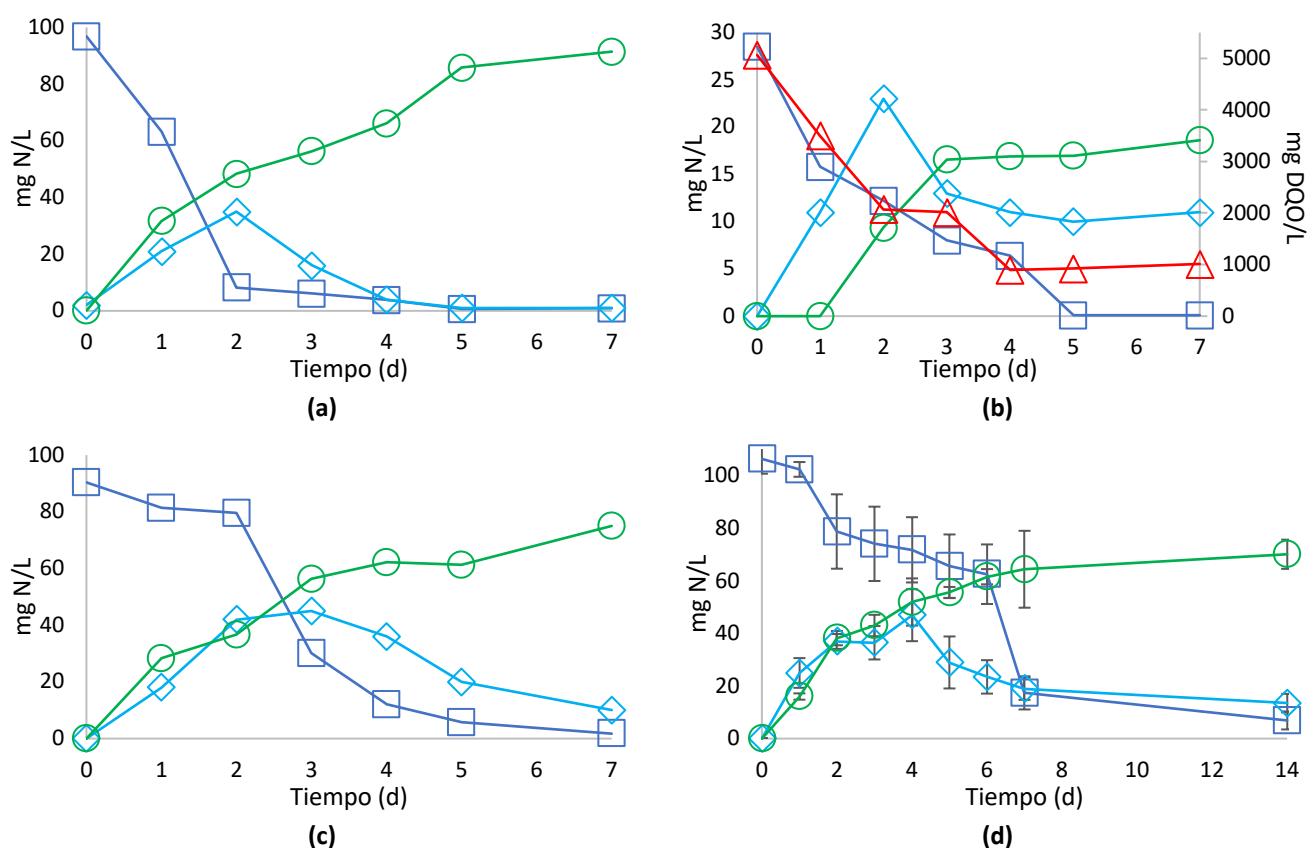


Figura 1. Diferentes perfiles del lodo nitrificante en el ciclo 3 de operación del reactor SBR antes de la adición de lixiviado (a), con lixiviado (b), ensayo de recuperación (c) y ensayo de recuperación en lote del lodo nitrificante (d). Amonio (□), Nitrito (◇), Nitrate (○) y DQO (△).

Para observar los efectos negativos del lixiviado sobre el comportamiento cinético del proceso nitrificante, en la tabla 1 se presentan las diferentes  $q_N$ -NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y  $q_N$ -NO<sub>3</sub><sup>-</sup> obtenidas en el reactor SBR con y sin lixivados, así como los ensayos de recuperación tanto para el reactor SBR como para los ensayos en lote. Después de 3 ciclos de operación en el reactor SBR sin la adición de lixiviado, el lodo nitrificante con 100 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L presentó una  $q_N$ -NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 29.38 mg de N/g SSV d y una  $q_N$ -NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 10.82 mg de N/g SSV d (Tabla 1). Posteriormente, con la adición del lixiviado al reactor SBR, después de tres ciclos de operación se presentó una disminución del 94 y 68% en la  $q_N$ -NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y  $q_N$ -NO<sub>3</sub><sup>-</sup> respectivamente de

acuerdo al ensayo nitrificante sin lixiviado, lo que indicó un efecto inhibitorio del lixiviado sobre la actividad nitrato y amonio oxidante del proceso nitrificante. Se ha reportado la inhibición de la actividad nitrificante en reactores de membrana para el tratamiento de lixiviados, los autores atribuyen este efecto a una disminución en la proporción de especies relacionadas con *Nitrosomonas* y *Nitrosospira* bacterias AOB y NOB respectivamente (Remmas et al., 2016).

El ensayo de recuperación del lodo nitrificante después de 3 ciclos de operación en el reactor SBR con 100 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L presentó una qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 14.29 mg de N/g SSV d y una qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 5.26 mg de N/g SSV d (Tabla 1). Las qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> incrementaron 8.11 y 1.51 veces respectivamente en comparación con las q del ensayo en el reactor SBR con lixiviado, indicando que la actividad amonio y nitrato oxidante del lodo nitrificante pudo recuperarse en gran proporción por la inhibición ejercida del lixiviado. Con respecto al ensayo de recuperación en lote, se presentaron qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del 5.39 y 7.33 mg de N/g SSV d respectivamente después de 14 días de cultivo. En este ensayo, la recuperación de la qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fue de 3.06 veces, menor que la presentada en el ensayo de recuperación en el SBR. Caso contrario, la oxidación de nitrato se recuperó en una proporción mayor, la qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> incrementó 2.11 veces con respecto al ensayo en el SBR con lixiviado. El lodo nitrificante presentó una mayor recuperación de la actividad amonio oxidante en el ensayo en el SBR y una mayor recuperación de la actividad nitrato oxidante en el ensayo en lote. Estos resultados indican que a pesar de que el proceso nitrificante se inhibe es posible recuperar su actividad fisiológica. Esta recuperación se podría atribuir a la ausencia de compuestos tóxicos o materia orgánica de los lixiviados, formación de nuevos microorganismos, producción de enzimas en condiciones nitrificantes y/o el uso de reactores SBR (Martínez-Jardines et al., 2019).

Tabla 1. Variables de respuesta del lodo nitrificante en el ciclo 3 de operación del reactor SBR y ensayos en lote de recuperación.

Ensayo	EN-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	YN-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	qN-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	qN-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
SBR-Nitrificante	99.08	0.95	29.38	10.82
SBR-Lixiviado	99.65	0.66	1.76	3.47
SBR-Recuperación	98.07	0.85	14.29	5.26
Lote-Recuperación	93.51	0.70	5.39	7.33

EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> =Eficacias de consumo de amonio ((mg de sustrato consumido/mg sustrato alimentado)×100).  
 YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> =Rendimientos de producción de nitrato (mg producto/mg sustrato consumido).  
 qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, q N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=Velocidad específica de consumo de amonio o producción de nitrato (mg de sustrato o producto/g SSV d).

## Conclusiones

De acuerdo a los ensayos en el reactor SBR con lixiviado, el lodo nitrificante tuvo un desempeño bajo sobre la oxidación de nitrato a nivel metabólico (YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.66) y una inhibición a nivel cinético en la oxidación de amonio y nitrato (disminución del 94 y 68% en la qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> respectivamente). Es posible recuperar la actividad fisiológica del lodo nitrificante, ambos ensayos presentaron un consumo de amonio con EN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> arriba del 93% y se recuperó la etapa nitrato oxidante con YN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> arriba del 0.70. Se presentó una mayor recuperación a nivel cinético de la actividad amonio oxidante en el ensayo en el SBR y una mayor recuperación de la actividad nitrato oxidante en el ensayo en lote. La qN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> incrementó 8.11 veces y la qN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> incrementó 2.11 veces con respecto al ensayo en el SBR con lixiviado. Estos resultados son de gran interés para lograr un proceso respiratorio nitrificante estable donde se pueda obtener un consumo completo y simultáneo de amonio y materia orgánica presente en los lixiviados.

**Agradecimientos y financiamiento:** Martínez-Jardines recibió una beca posdoctoral del Consejo de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT, CVU: 485058).

## Bibliografía

- Baderna, D., Caloni, F., & Benfenati, E. (2019). Investigating landfill leachate toxicity in vitro: A review of cell models and endpoints. *Environment International*, 122, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.024>
- Brennan, R. B., Clifford, E., Devroedt, C., Morrison, L., & Healy, M. G. (2017). Treatment of landfill leachate in municipal wastewater treatment plants and impacts on effluent ammonium concentrations. *Journal of Environmental Management*, 188, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.055>

- Chen, Z., Wang, X., Yang, Y., Mirino Jr, M. W., & Yuan, Y. (2016). Partial nitrification and denitrification of mature landfill leachate using a pilot-scale continuous activated sludge process at low dissolved oxygen. *Bioresource technology*, 218, 580–588.
- Federation, W. E., & Association, A. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA*, 21.
- Hira, D., Aiko, N., Yabuki, Y., & Fujii, T. (2018). Impact of aerobic acclimation on the nitrification performance and microbial community of landfill leachate sludge. *Journal of environmental management*, 209, 188–194.
- Li, X., Lu, M., Huang, Y., Yuan, Y., & Yuan, Y. (2021)a. Influence of seasonal temperature change on autotrophic nitrogen removal for mature landfill leachate treatment with high-ammonia by partial nitrification-Anammox process. *Journal of Environmental Sciences*, 102, 291–300.
- Li, X., Tao, R., Tian, M., Yuan, Y., Huang, Y., & Li, B. (2021)b. Recovery and dormancy of nitrogen removal characteristics in the pilot-scale denitrification-partial nitrification-Anammox process for landfill leachate treatment. *Journal of Environmental Management*, 300, 113711. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113711>
- Lippi, M., Ley, M. B. R. G., Mendez, G. P., & Junior, R. A. F. C. (2018). State of art of landfill leachate treatment: Literature review and critical evaluation. *Ciência e Natura*, e78–e78.
- Martínez-Jardines, M., Pérez-Alfaro, E., González-Robles, R. O., Texier, A.-C., & Cuervo-López, F. (2019). Decrease of inhibitory effect of 2-chlorophenol on nitrification in sequencing batch reactors. *Environmental Technology*, 40(26), 3422–3433. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1476594>
- Remmas, N., Melidis, P., Katsioui, E., & Ntougias, S. (2016). Effects of high organic load on amoA and nirS gene diversity of an intermittently aerated and fed membrane bioreactor treating landfill leachate. *Bioresource Technology*, 220, 557–565. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.009>
- Teng, C., Zhou, K., Peng, C., & Chen, W. (2021). Characterization and treatment of landfill leachate: A review. *Water research*, 203, 117525.
- Yuan, Q., Jia, H., & Poveda, M. (2016). Study on the effect of landfill leachate on nutrient removal from municipal wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, 43, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.10.023>