

# Nitrificación en el tratamiento de lodos de lixiviados en un reactor biológico discontinuo secuencial - SBBR<sup>1</sup>

Álvaro Chávez Porras<sup>2</sup>, Tatiana Ramírez Contreras<sup>3</sup>, Nicolás Casallas Ortega<sup>4</sup>

## Resumen

Los rellenos sanitarios brindan una técnica de disposición y tratamiento efectivo de residuos sólidos los cuales, con la degradación de la materia orgánica y la percolación del agua lluvia, generan lixiviados. Es posible tratar los lodos generados del tratamiento de lixiviados a través de un reactor biológico discontinuo secuencial –SBBR–, que oxida el sustrato y favorece la degradación y nitrificación. El estudio tiene como objetivo el tratamiento biológico a los lodos de lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá D. C.-Colombia, por medio de un SBBR, para lograr la reducción de los impactos ambientales. Se empleó un sistema piloto, con 10 recambios de lodo (uno por semana) en 70 días. El sistema de aireación fue controlado por medio de parámetros como pH, temperatura y oxígeno disuelto que determinaron la correcta actividad biológica. Se logró una disminución del 40 % del nitrógeno total en la mezcla de lodo final, y para el clarificado final, una reducción de DBO en 99,6 % y DQO en 98 %. Ello conduce a concluir que el proceso biológico con la incorporación de la aireación extendida permite la mitigación de la carga contaminante.

**Palabras clave.** nitrificación, lodos de lixiviado, tratamiento biológico, reactor biológico discontinuo secuencial.

## Nitrification in the treatment of leachate sludges in a discontinuous sequential biological reactor - SBBR

### Abstract

Landfills provide a technique for the effective disposal and treatment of solid waste; they generate leachates by means of the degradation of organic matter and the percolation of rainwater. It is possible to treat the sludge generated from the treatment of leachates through a Discontinuous Sequential Biological Reactor - SBBR, oxidizing the substrate and favoring degradation and nitrification. The objective of the study is the biological treatment of leachate sludge from Doña Juana Sanitary Landfill, Bogotá D.C - Colombia, through an SBBR, to achieve the reduction of environmental impacts. A pilot system was used, with 10 mud replacements (one per week) in 70 days. The aeration system was controlled by means of parameters such as pH, temperature and dissolved oxygen that determined the correct biological activity. A reduction of 40% of the total nitrogen in the final sludge mixture was achieved. A BOD reduction of 99.6% and a COD reduction of 98% for the final clarification were also obtained. This allows us to conclude that, with the incorporation of extended aeration, the biological

- 1 Artículo original derivado del proyecto de investigación IMP ING 2289 "Procesos de lodos activados con aireación extendida para sedimentos de lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana - Bogotá D.C. complementado con técnica de vermicompostaje" Vigencia 2017-2018. Financiado por la Universidad Militar Nueva Granada. Realizado en Cajicá, Cundinamarca del 06 de febrero 2017 al 01 de enero 2018.
- 2 Ingeniero Industrial, magíster y doctor en Ingeniería Civil-Área de Saneamiento y Ambiente, docente de la Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. E-mail: alvaro.chavez@unimilitar.edu.co. ORCID: 0000-0002-3989-916X
- 3 Ingeniera Química. Asistente de Investigación en la Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. E-mail: tatiana.ramirez@unimilitar.edu.co. ORCID: 0000-0002-8631-2691
- 4 Ingeniero ambiental y sanitario. Asistente de Investigación en la Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. E-mail: tmp.nicolas.casallas@unimilitar.edu.co ORCID: 0000-0003-4783-6385

Artículo recibido: 7/02/2018; Artículo aprobado: 09/03/2018

Author para correspondencia Tatiana Ramírez Contreras, E-mail: tatiana.ramirez@unimilitar.edu.co

process allows the mitigation of the contaminant load.

**Key words.** Nitrification, leachate sludge, biological treatment, Discontinuous Sequential Biological Reactor.

## Nitrificação no tratamento de banhos de lixiviados em um reator biológico sequencial descontinuado - SBBR

### Resumo

Os aterros fornecem uma técnica para o descarte e tratamento eficazes de resíduos sólidos; que, com a degradação da matéria orgânica e a percolação da água da chuva, geram lixiviados. É possível tratar o lodo gerado a partir do tratamento de lixiviados através de um Reator Biológico

Sequencial Descontinuado - SBBR, oxidando o substrato, favorecendo a degradação e a nitrificação. O objetivo do estudo é o tratamento biológico do lodo de chorume do Aterro Sanitário de Dona Juana, Bogotá D.C - Colômbia, através de um SBBR, para alcançar a redução dos impactos ambientais. Um sistema piloto foi usado, com 10 substituições de lama (uma por semana) em 70 dias. O sistema de aeração foi controlado por meio de parâmetros como pH, temperatura e oxigênio dissolvido, que determinaram a atividade biológica correta. Obteve-se uma redução de 40% do nitrogênio total na mistura final de lodo e, para a clarificação final, uma redução de DBO em 99,6% e DQO em 98%. Isso nos permite concluir que o processo biológico com a incorporação de aeração prolongada permite a mitigação da carga contaminante.

**Palavras chave:** Nitrificação, lodo de lixiviação, tratamento biológico, Reator Biológico Sequencial Descontinuado.

---

## Introducción

La acumulación de los desechos y la percolación de aguas lluvias a través de estos genera lixiviados de diversa composición que incluyen sales inorgánicas, metales pesados –MP–, niveles elevados de nitrógeno amoniacal total –NAT–, materia orgánica –MO– y compuestos orgánicos xenobióticos (Ren, Ferraz, Lashkarizadeh, & Yuan, 2017).

La disminución de la concentración de la MO, en función del DQO, DBO y NAT, es el requerimiento para descargar lixiviados en aguas naturales, buscando reducir estos parámetros por medio de diferentes métodos que permiten su descontaminación. Debido a su confiabilidad y simplicidad, los tratamientos biológicos son una metodología viable para la descontaminación de lodos de lixiviados, empleando metodologías en reactores biológicos discontinuos de secuencialización –SBBR– o lodos activados (Renou et al., 2008).

La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, los cuales pueden transformar la MO y nitrogenada en CO<sub>2</sub> y lodo, en condiciones aerobias. La presencia de bacterias como Nitrosomas y Nitrobacter realiza el proceso de nitrificación. En el proceso las Nitrosomas convierten el amonio en nitritos y posteriormente

los Nitrobacter transforman los nitritos en nitratos; ambas especies usan CO<sub>2</sub> y N como fuente de energía; además de requerir condiciones de temperatura, pH, concentración de amoníaco y de biomasa óptimas para la actividad microbiana (Hoilijoki, Kettunen, & Rintala, 2000).

Tang y Chen reportaron que el 95 % de la inhibición en la nitrificación se presenta con un pH de 6,51 en un reactor de lodo activado que trata aguas residuales domésticas; mientras que a un pH de 7,2 la inhibición de la nitrificación era inferior al 40 %. Sin embargo, en este tratamiento el nitrógeno (aportado por el lixiviado) y el fósforo (aportado por las aguas residuales) no necesitan ser agregados (Tang & Chen, 2015).

Estudios presentados por diferentes autores que emplean métodos biológicos muestran disminución en los contaminantes. Por ejemplo, Viera y colaboradores reportan un 88 % de remoción del NAT, tratando 12 L de lixiviado durante 72 h, usando una torre empacada aireada (Vieira, Ferraz, & Povinelli, 2013). Por su parte, Diamadopoulos y cooperadores trataron aguas residuales combinadas con lixiviados utilizando un SBBR con relaciones 9 / 1, y lograron casi 50 % de eliminación del nitrógeno, y 95 % del DBO, al final de los ciclos diarios (Diamadopoulos E., Samaras P., Dabou X., Sakellaropoulos G. P., 1997).

Además, se menciona que la reducción de DQO y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumenta de acuerdo con la proporción de lixiviados de vertederos / aguas residuales domésticas (Renou et al., 2008).

El proceso de lodos activados con alimentación por lotes permite la eliminación de contaminantes debido a la flexibilidad en la operación, considerando que para el tratamiento de lixiviados en vertederos tiene alta variabilidad, en calidad y cantidad.

Un SBBR, en estos casos, proporciona un régimen de operación compatible con la oxidación y la nitrificación. Diversos autores reportan la eliminación de la DBO hasta un 95 % con la combinación de lixiviado y aguas residuales; y hasta del 90 % del DQO en un proceso de lodos activados (AS) con 10 días de retención (tabla 1) (Kennedy & Lentz, 2000) (Renou et al., 2008) (Ceçen & Aktas, 2004).

energía; e inhibición microbiana debido a la alta concentración de nitrógeno amoniacal. Hoilijoki y colaboradores, reportan que la eficiencia de la nitrificación del lixiviado del vertedero municipal mejoró al ser pretratado anaeróticamente en un reactor de lodos activados y postratado aeróticamente con la adición de carbón activado en polvo; produciendo un efluente con 150-500 mg DQO / L, a menos de 7 mg DBO / L y, en promedio, menos de 13 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / L (Loukidou & Zouboulis, 2001) (Hoilijoki et al., 2000).

Este documento presenta el estudio del proceso de tratamiento de lodos de lixiviado para la caracterización de la nitrificación en un reactor SBBR de lodos activados en reactores con una población microbiana estabilizada previamente con biosólidos; además, logra presentar porcentajes de reducción de TN, DBO y DQO, como alternativa para eliminación de contaminantes en lodos de lixiviados de los rellenos sanitarios.

**Tabla 1. Referencias de tratamientos combinados de lixiviados y aguas residuales** Fuente: Renou et al., 2008

Alimentación - sustratos iniciales				Condiciones operacionales			Porcentaje de Reducción (%)
DQO (mg/L)	DBO / DQO	pH	Origen	Tipo de reactor	Volumen del reactor (L)	Tiempo de Retención (días)	
1.090	0,4	-	Lixiviado + aguas PTAR	SBBR	-	1	95 DBO
10.750	0.59	8,2	Vertedero	AS	2	1,3	60 - 90 DQO
2.431 - 37.024	0,2 - 0,4	7,3 - 7,9	Vertedero	AS	2	1-10	16 - 88 DQO
10.750 - 18.420	0,55 -	7,7 - 7,2	Lixiviado + aguas PTAR	AS	3.6 - aireación; 2.5- sedimentación	-	Reducción del 75,6 NAT

Sin embargo, se presentan problemas como la sedimentación inadecuada de los lodos y tiempos de aireación más extensos, para tanques con gran volumen y para el reciclaje total de biomasa; además, de alta producción de lodo y demanda de

## Materiales y métodos

### Extracción de la materia prima.

Los lodos de lixiviado fueron obtenidos del Relleno Sanitario Doña Juana –RSDJ–, Bogotá D. C., provenientes del tratamiento de aguas de lixiviación generadas. Fueron recolectados en bidones de plástico y trasladados a la Universidad Militar Nueva Granada –UMNG–, sede Campus Nueva Granada, Cajicá, Cundinamarca, y preservados acidulando la muestra con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> 1,5 mL conc. / L, a una temperatura de 4 °C). Por otra parte, se emplearon biosólidos y agua del efluente de la PTAR-UMNG que opera bajo el principio de lodos activados. A cada una de las materias primas se les hizo una caracterización química que permitió establecer las condiciones de la línea de alimentación del SBBR.

### Metodología experimental.

El diseño del sistema piloto está compuesto por un tanque de forma rectangular, con dimensiones de 0.5 x 0.75 x 0.25 m y capacidad de 80 L, en acrílico. Con 6 bombas de aire con una capacidad de 4 L / s y una de capacidad de 16 L / s, lo que en combinación permite obtener 3.456.000 L / día de aire, proporcionando una aireación permanente mediante un difusor cerámico ubicado en el fondo del reactor y produciendo burbujas de tamaño medio para el suministro uniforme de aire a través

del sistema sólido-líquido del reactor.

El sistema piloto fue controlado mediante un equipo externo, medidor multiparamétrico impermeable para obtener y controlar los parámetros como la temperatura (entre en 15 – 25 °C), pH (entre 7 - 7.8) y concentración de oxígeno disuelto –OD– (entre 1.8 - 2.5 mg / L). Además, se realizó la medición del lodo producido, posterior a un proceso de sedimentación, realizando una medición por triplicado de cada una de las caras laterales del tanque. La figura 2 muestra el prototipo empleado en este estudio.

**Figura 1. Prototipo de reactor SBBR.**

Fuente: Autores



Previamente, se ejecuta la etapa de estabilización durante 70 días en la que se cargan 14 kg de biosólidos y 56 L agua residual de la PTAR en un tiempo de carga de 1 h; se mezclan los componentes y se toma la primera medición; esta fase tiene como fin ganar población microbiana para el tratamiento, manteniendo la aireación permanentemente. Se inicia el proceso: son 7 días de aireación permanente controlando y manteniendo las condiciones de temperatura, pH y OD. Terminado este tiempo, se realiza un recambio el cual consiste en detener la operación del reactor (apagado de bombas de aireación), dejar sedimentar el sustrato (sistema sólido-líquido), retirar el agua (clarificado) y extraer 7 kg de lodo producido durante la operación. Después, se adicionaron 7 kg de

biosólido nuevo de la PTAR y se agregó nuevamente el agua extraída para garantizar la capacidad de 80L en el tanque; se inicia de nuevo la operación de aireación durante los próximos 7 días. Se realizaron 10 recambios, como este, en los cuales se estabilizó el sistema.

Finalizada la etapa de estabilización, en la que se observa presencia de algas y mayor producción de lodo que indica actividad microbiana, se da inicio a la etapa de operación con lodo de lixiviado la cual contó con 10 recambios que abarcan 70 días. El primer recambio consta de alimentar el reactor con 7 kg de lodo de lixiviado, 7 kg de biosólido y 70 L de agua de la PTAR. Se espera durante 8 h con aireación constante garantizando la mezcla de los componentes y se toma la muestra cero. A partir de este momento, inicia la operación durante 7 días sin detener la aireación y controlando los parámetros (temperatura, pH y OD). Terminado este tiempo, se deja sedimentar el tanque durante 2 h y se toma la muestra para la caracterización química del lodo y del clarificado. Luego, se realiza un recambio con lodo de lixiviado nuevo. Este proceso de descarga y carga de material abarca aproximadamente 3 h, y se continúa con la aireación durante 7 días.

#### Métodos analíticos.

La caracterización química de las muestras se realizó según las normas internacionales y colombianas que rigen. En la tabla 2, se presentan el método y la técnica empleados para la cuantificación de cada analito.

**Tabla 2. Métodos para la cuantificación química de las muestras experimentales.**

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Método	Técnica	Límite de Cuantificación del Método
Carbono orgánico total (COT)	NTC 5403 Walkley & Black	Digestión, Titulometría	0,06
DBO	SM 5210 B, ASTM D 88-09 METODO C	Incubación 5 días y Luminiscencia	5,00 mg O <sub>2</sub> / L
DQO	SM 5220 D	Reflujo cerrado y colorimétrico	5,00 mg O <sub>2</sub> / L
Nitrógeno Total (NT)	IGAC	Digestión - kjeldahl, Titulometría	0,00 %

Además, se hicieron análisis estadísticos como el cálculo de los porcentajes de reducción (valor inicial / valor final / valor inicial) y coeficientes de variación –CV– calculado como:

$$X = \frac{\text{valor inicial} + \text{valor final}}{2} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\text{valor inicial}^2 + \text{valor final}^2}{2} - X^2} \quad C.V = X/\sigma$$

## Resultados

### Caracterizaciones de la línea de alimentación al SBBR.

La caracterización química inicial necesaria en este estudio de los lodos de lixiviado, biosólidos y agua del efluente de la PTAR se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3. Caracterización química de los componentes de alimentación del reactor Lodos de lixiviado, biosólidos y agua PTAR**

Fuente: Elaboración propia

Analito	Lodo Lixiviado	Biosólido	Agua residual PTAR
Carbono Orgánico Total (%)	4,76	7,12	-
DBO (mg O <sub>2</sub> / L)	-	-	31,6
DQO (mg O <sub>2</sub> / L)	-	-	130
Nitrógeno Total (%)	1,63	1,83	22,4

El lixiviado empleado en este estudio fue caracterizado como joven; Torres-Lozada P., Barba-Ho L., Ojeda C., Martínez J., Castaño Y., estudiaron las características de lixiviados con diferentes edades, y concluyeron que la relación DBO / DQO menor a 0,5 determina un lixiviado joven, coincidiendo con 0,4 del lixiviado obtenido del RSDJ, el cual se determinó por medio de la caracterización presentada en la tabla 3. Los valores de amoníaco o amonio no ionizable (NH<sub>4</sub>) para estos mismos lixiviados jóvenes deben ser hasta 1090 mg / L (Torres-Lozada, 2014), acorde con el encontrado en el lixiviado estudiado de 180 mg / L determinando características jóvenes; este valor se encontró con una caracterización extra del NAT por medio del método de colorimetría.

### Resultados SBBR.

La tabla 4 presenta la caracterización química del lodo y clarificado en la mezcla inicial y el producto después de 70 días de tratamiento en el SBBR - Etapa de operación. ACLARE

**Tabla 4. Caracterización química de la mezcla inicial y el producto del tratamiento en el SBBR**  
Fuente: Elaboración propia

Analito	Inicial	Inicial	Final	Final
	Mezcla Lodo Inicial Recambio 1	Clarificado Inicial Recambio 1	Lodo Final Recambio 10	Clarificado Final Recambio 10
Carbono Orgánico Total	4,54 %	-	4,06 %	-
DBO	-	1.293 mg / L	-	5,0 mg / L
DQO	-	3.121 mg / L	-	56,7 mg / L
Nitrógeno Total	0,627 %	414 mg / L	0,377 %	49,6 mg / L

En la caracterización química de la mezcla inicial de los componentes, punto de arranque del sistema piloto, se presenta un aumento del NT, el DBO y DQO en vista de que los lixiviados requieren mayores concentraciones de O<sub>2</sub> y con ello mayor demanda de este; además, al cuantificar el NAT se encontraron concentraciones de 150 mg / L, que requieren procesos de nitrificación para su remoción, definidos anteriormente.

Por otro lado, cuando la relación DBO / DQO tiene un valor >0,5 los procesos biológicos son la metodología adecuada para la eliminación de MO y la nitrogenada de los lixiviados (Renou et al., 2008). Con la mezcla inicial se presenta una relación de 0,41 muy cerca a la presentada en la literatura, que muestra resultados efectivos en el tratamiento de los lixiviados por medios biológicos.

Como lo mencionan Loukidou & Zouboulis, se ha demostrado que los procesos biológicos fundamentados en biomasa de crecimiento suspendido, como los procesos convencionales de lodo activado, son efectivos para la eliminación

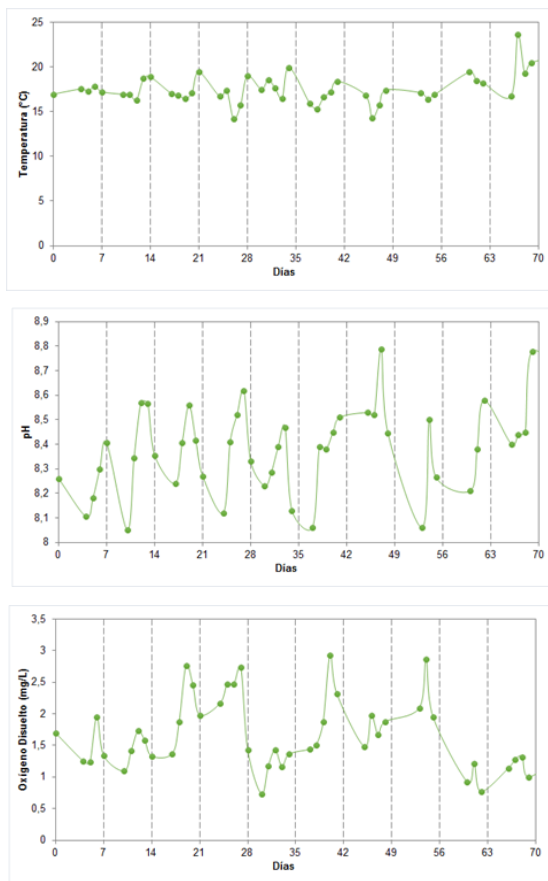


## Discusión

En la gráfica 1 se presenta el comportamiento de los parámetros de control (temperatura, pH y del sistema durante los 70 días de tratamiento

### Gráfica 1. Comportamiento de los parámetros de control en los 70 días de tratamiento

Fuente: Elaboración propia



En la gráfica 1 se muestran los cambios de temperatura que tuvo el sistema durante el proceso de aireación que se mantuvo entre 15 - 20°C, condición ideal para la población microbiana. Se tuvo solamente un dato atípico en estas mediciones, debido a condiciones climáticas de la sabana de Bogotá. Por otro lado, el pH se encontró entre 8 y 8,8, rango alto según lo establecido para la operación; sin embargo, esto no interfirió en la actividad biológica. Finalmente, las concentraciones de OD presentan una disminución cuando se realiza el recambio de lodo, debido a que este, con mayor carga orgánica, requiere más oxígeno ya que es consumido rápidamente; días posteriores, se observa un aumento en las concentraciones de todos los recambios debido a

que el consumo disminuye y el sistema logra un equilibrio.

Concerniente a la información presentada en la tabla 4, Marulanda V. F y colaboradores mencionan que el porcentaje de nitrógeno total –NT– representa los nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y enlaces orgánicos. La disminución del porcentaje de NT en el clarificado es del 88,0 %, y en el lodo, de 39.9 % lo que demuestra que la nitrificación se llevó a cabo; no se presentaron inhibiciones de esta en el sistema piloto y se presentaron condiciones de operación estables, valor cercano al reportado por Morling de 90 a 95 %, aproximadamente, en lixiviados empleando tecnología SBBR (Marulanda V.F, Marulanda P.A & Alvarado, 2017) (Morling, 2010).

Adicionalmente, se realizaron cuantificaciones para el clarificado con el analito NAT, y se encontró una concentración inicial de 150 mg / L y después de los 70 días de tratamiento 16.4 mg / L mostrando una eliminación del 89,1 %; valor cercano al encontrado por Viera y ayudantes (88 %) y Loukidou & Zouboulis (85 %); confirmando las condiciones acordes para la actividad biológica que realizan bacterias de los géneros Nitrosomonas y Nitrosococcus. No obstante, se alcanzarían mayores niveles de eliminación asegurando un tiempo de retención para completar el proceso de nitrificación y verificando que la carga orgánica del lixiviado nuevo en cada recambio sea superior (aprox. 11.28 % COT) adecuada para el sistema. (Loukidou & Zouboulis, 2001) (Viera et al., 2013) (Del Moro, Prieto-Rodríguez, Sanctis, Iaconi, Malato & Mascolo, 2016).

Sin embargo, al determinar la concentración de nitratos, por cuantificaciones al clarificado, anexas a este estudio (inicial 7,04 - final 2,71 mg/L), se encontró una disminución del 62 %, lo que se explica con la ausencia de oxígeno molecular al interior de los flóculos dentro del reactor, lo que permite la ocurrencia de la desnitrificación y la oxidación anaerobia del amonio. Según Spiro, Purvis & Stigliani, cuando el oxígeno molecular se agota el nitrato disponible es el oxidante más efectivo; entonces, las bacterias desnitrificantes consumen nitrógeno amoniacal y liberan dinitrógeno –forma del nitrógeno muy estable y no reactiva–; lo que concuerda con el control diario del sistema piloto, en vista que la concentración de OD no fue superior a 2 mg/L, desfavoreciendo las condiciones aerobias dentro del reactor. En este método la principal desventaja es la necesidad de operar a concentraciones más altas de OD para mantener altas tasas de nitrificación (Droppelmann & Oettinger, 2009) (Loukidou & Zouboulis, 2001) (Spiro, Purvis & Stigliani, 2012) (Valencia & Rivera, 2003).

Esta disminución de nitratos también se ve afectada por la actividad biológica, ya que el oxígeno, al ser consumido por las bacterias, mantiene la producción de

energía conservando algo del poder oxidante, y el nitrato generado de esta manera puede ser usado como oxidante por otras especies, como algas fijadoras de nitrógeno. Aunque el nitrógeno constituye el 80 % de la atmósfera en este tipo de ambientes, no se encuentra en una forma asequible. Esto se observó durante la experimentación al contar con la presencia de algas verdes las cuales probablemente también oxidaron los nitratos presentes (Spiro et al., 2012).

Posiblemente, otra razón es el proceso simultáneo de desnitrificación, que ocurre en la fase aerobia, y que logra, inicialmente, la reducción del nitrato. Sin embargo, con el transcurrir del proceso no se asegura un proceso aerobio efectivo y, probablemente, los nitratos producidos a través de nitrificación del amoníaco no pueden ser desnitrificados y, por lo tanto, se acumulan gradualmente con cada recambio (Loukidou & Zouboulis, 2001). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la desnitrificación aún se produce en un grado suficientemente alto en el efluente, con concentraciones sustancialmente más bajas de las esperadas con la oxidación de altas concentraciones de amoníaco inicialmente presentes (1800 mg / L). Esta observación posiblemente se puede explicar por el mecanismo de desnitrificación simultánea que ocurre durante la fase aeróbica (Loukidou & Zouboulis, 2001).

Por otro lado, durante los primeros días de operación, la DBO, debido a la baja concentración de oxígeno, inhibe la nitrificación y al presentarse un exceso de NAT produce un efecto inhibitorio sobre las bacterias heterótrofas encargadas de la remoción del DBO (Droppelmann & Oettinger, 2009). A medida que proceso de aireación avanza se observa una disminución del nitrógeno amoniacal con un coeficiente de variación -CV- de 0,8 lo que concuerda con el aumento en la remoción del DBO a un 98 % respecto al valor inicial de la carga: 1293 mg / L (tabla 4).

Las concentraciones de la DQO presentan un porcentaje de remoción alrededor de 98 %, encontrándose valores altos, según lo mencionado por Ren y colaboradores, cuando co-trataron en proporción volumétrica de 5 % lixiviado con aguas residuales domésticas mostrando eficiencias de eliminación de DQO de hasta 90 % y eliminación satisfactoria de nutrientes. Sin embargo, este tratamiento combinado es cuestionado, ya que el lixiviado probablemente se diluye con aguas residuales domésticas en lugar de biodegradarse en un SBBR. No obstante, por medio de la aplicación adicional de un método físico-químico como la coagulación, se espera la eliminación de la mayor parte de la DQO particulada residual (Ren, Ferraz, Lashkarizadeh & Yuan, 2017) (Ferraz, Bruni, Povinelli & Vieira, 2016) (Loukidou & Zouboulis, 2001).

Para la reducción de la DQO, se debe tener en cuenta que el tiempo de retención en proceso de lodos activados con secuencia batch las variaciones en pocas horas o en semanas proporcionará un resultado similar en la reducción del DQO, según lo mencionado por Marulanda V. F. et al., quienes encuentran con el tiempo de retención de 7 días puede lograr la misma disminución que en este estudio. (Marulanda V.F, Marulanda P.A & Alvarado, 2017).

El porcentaje de reducción del COT no muestra una disminución favorable, pues tan solo se alcanzó el 10,6 % de reducción; esto probablemente se debió a la carga orgánica adicionada en cada recambio fue superior y puede resultar en COT sin oxidar como residuo en el lixiviado tratado, y en efecto, en el aumento en el efluente de DQO y DBO. Esto se puede evitar mediante la dosificación cuidadosa de la fuente de carbono, oxígeno y la introducción de una fase aeróbica final.

## Conclusión

Se logró una disminución del 40 % del NT en la mezcla de lodo final, y para el clarificado final, una reducción de DBO en 99,6 % y DQO en 98 %. La disminución de nitratos se vio afectada por la actividad biológica, porque el oxígeno, al ser consumido por las bacterias, mantiene la producción de energía, y el nitrato generado a partir de este puede ser usado como oxidante por otras especies, además de presentarse el proceso simultáneo de nitrificación que reduce la concentración de nitrato en el efluente del recambio 10. El porcentaje de reducción de COT alcanzado fue de 10,6 %, y puede ser mayor mediante la dosificación cuidadosa de la fuente de carbono y oxígeno, y la introducción de una fase aeróbica final.

El proceso biológico con la incorporación de aireación controlada permite la mitigación de la carga contaminante en el lodo y la nitrificación del NAT. Se recomienda un aumento en el aporte de oxígeno al sistema, que alcance una aireación extendida y, por tanto, una concentración de OD superior a 2 mg / L que garanticen condiciones aerobias dentro del reactor, mejorando los resultados de remoción del NT y que permita una conservación considerable de nitratos que luego será usado en una enmienda orgánica o abono orgánico.

## Referencias

- Çeçen F. & Aktas O. (2004). Co-tratamiento aeróbico de lixiviados de vertedero con aguas residuales domésticas. *Environmental Engineering Science*, 21(3), 303 - 312

- Diamadopoulos E., Samaras P., Dabou X., Sakellaropoulos G. P. (1997). Combined treatment of landfill leachate and domestic sewage in a sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, 36 (2-3), 61-68
- Del Moro G., Prieto-Rodríguez L., Sanctis M., Di Iaconi C., Malato S., Mascolo G. (2016). Landfill leachate treatment: Comparison of standalone electrochemical degradation and combined with a novel biofilter. *Chemical Engineering Journal*, 288, 87-97
- Droppelmann C. & Oettinger M. (2009). Tratamiento de lodo activado del lixiviado de un relleno sanitario. *Información Tecnológica*, 20(1), 11-19
- Ferraz F.M., Bruni A., Povinelli J., Vieira E. (2016). Leachate / domestic wastewater aerobic co-treatment: A pilot-scale study using multivariate analysis. *Journal of Environmental Management*, 166, 414-419
- Hoiijoki, T., Kettunen, R., & Rintala, J. (2000). Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature. *Water Research*, 34(5), 1435-1446
- Kennedy, K., & Lentz, E. (2000). Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Water Research*, 34(14), 3640-3656.
- Loukidou, M., & Zouboulis, A. (2001). Comparison of two biological treatment processes using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment. *Environmental Pollution*, 11(2), 273-281.
- Marulanda V. F., Marulanda P. A., Alvarado D. 2017. Landfill leachate treatment by batch supercritical water oxidation. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 5-26.
- Morling, S. (2010). Nitrogen removal and heavy metals in leachate treatment using SBR technology. *Journal of Hazardous Materials*, 174 (1-3), 679-686
- Ren, Y., Ferraz, F., Lashkarizadeh, M., & Yuan, Q. (2017). Comparing young landfill leachate treatment efficiency and process stability using aerobic granular sludge and suspended growth activated sludge. *Journal of Water Process Engineering*, 17, 161-167.
- Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 468-493.
- Renzun, Z., Abhinav, G., John T., N., & C. Douglas, G. (2017). Evolution of nitrogen species in landfill leachates under various stabilization states. *Waste Management*, 69, 225-21.
- Spiro, Purvis & Stigliani (2012). *Chemistry of the environment* (3ra Edición). Canadá: University Science books.
- Tang, H., & Chen, H. (2015). Nitrification at full-scale municipal wastewater treatment plants: Evaluation of inhibition and bioaugmentation of nitrifiers. *Bioresource Technology*, 190, 76 - 81.
- Torres-Lozada P., Barba-Ho L., Ojeda C., Martínez J., Castaño Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad. *Rev. U.D.C.AAct. & Div. Cient.* 17(1), 245-255.
- Valencia N. & Riveria N. (2003). Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de lodos activados (Tesis de Pregrado Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Vieira, E., Ferraz, F., & Povinelli, J. (2013). Ammonia removal from landfill leachate by air stripping and absorption. *Environ. Technol.*, 2317-2326.