

Área: Ciencias de la tierra  
Aplicación de biodiscos como sistema alternativo de tratamiento  
de lixiviados del relleno sanitario de Encarnación

Adriano Ramón Arzamendia Alonso<sup>1</sup>; [alonsoarzamendia@gmail.com](mailto:alonsoarzamendia@gmail.com)

## Resumen

El presente estudio evaluó el comportamiento de un reactor biológico rotativo de contacto (Biodisco) para tratar lixiviados, generados durante la descomposición anaeróbica de residuos sólidos en el relleno sanitario de Encarnación. Los parámetros analizados fueron pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, turbiedad, DBO<sub>5</sub>, DQO y nutrientes. El tiempo de retención hidráulica fue de 20 días. El sistema presentó altos porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> con 96 %, nitrógeno total y amoniacal en el orden de 80 %, sólidos volátiles 80 % y sólidos suspendidos 96 %. No se observó reducción significativa de otros parámetros como la DQO con 30 %, fósforo total 44 %, sólidos fijos 30 % y sólidos totales con 60 % de remoción. Los resultados obtenidos reflejan que el sistema estudiado es aplicable como tratamiento alternativo de lixiviados; no obstante, debe ir acompañado de otros procesos para eliminación de nutrientes y la DQO antes de la disposición final en cuerpos receptores.

**Palabras clave:** Biodisco. Lixiviado. Residuos sólidos

## Abstract

The present study has evaluated the behavior of a rotating contact biological reactor (Biodisc) to treat leachates, generated during the anaerobic decomposition of solid waste in the Encarnación sanitary landfill. The parameters analyzed were pH, conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, turbidity, BOD<sub>5</sub>, COD, and nutrients. The hydraulic retention time was 20 days. The system presented high removal percentages of BOD<sub>5</sub> with 96 %, total nitrogen and ammonia in the order of 80 %, volatile solids 80 %, suspended solids 96 %. No significant reduction of other parameters was observed such as COD with 30 %, total phosphorus 44 %, fixed solids 30 % and total solids with 60 % removal. The results obtained reflect that the studied system is applicable as an alternative leachate treatment. However, it must be accompanied by other processes for nutrient removal and COD before final disposal in receptors agents.

**Key words:** Biodiscs. Leached. Solid waste.

**Recibido:** 30/07/2020 **Aprobado:** 27/08/2020

<sup>1</sup>Ing. Ambiental. Profesor Investigador de la Universidad Nacional de Itapúa (UNI).

## Introducción

En los últimos años el crecimiento acelerado de la población ha traído consigo una mayor demanda de recursos para satisfacer las necesidades básicas, esto a su vez conlleva a un aumento de los residuos generados y la inadecuada gestión de los mismos ocasiona la degradación del ambiente. En las grandes ciudades donde la aglomeración de personas es mayor, la cantidad de residuos tanto sólidos como líquidos se ve aumentada debido al desarrollo de distintos tipos de actividades.

Considerando que los residuos sólidos pueden ser tóxicos, peligrosos, patológicos, radiactivos e inflamables se requiere de un tratamiento adecuado antes de su disposición final al ambiente. Los rellenos sanitarios son los sistemas de tratamiento de residuos más utilizados en la actualidad en los países subdesarrollados, por el bajo costo de implantación y operación; no obstante, la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos generan subproductos como gas metano y lixiviados caracterizados por poseer alta carga contaminante.

El lixiviado generado en un relleno sanitario es producto de múltiples factores, tales como: composición de la basura, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica y química y la interacción del lixiviado con el medio ambiente. El caudal generado varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del relleno, y la composición también varía en el tiempo (Pineda, 1998).

Las experiencias reportadas ofrecen resultados que favorecen al tratamiento anaerobio de lixiviados, pero en diferentes casos presentan problemas específicos que dependen del efluente a ser tratado. Las características

fisicoquímicas del lixiviado varían de un lugar a otro, por lo que es necesario realizar estudios tanto de tratamiento aerobios como anaerobios para cada caso en particular (Morán y Narváez, 2002).

Uno de los sistemas más recientes para el tratamiento de aguas residuales es el Contador Biológico Rotatorio (CBR) comúnmente conocido como Biodisco. Este sistema de tratamiento biológico secundario es usado para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y para el pulido de efluentes nitrificados (Deloya, 2018).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente surge la idea de una investigación, cuyo objetivo principal es: Evaluar el sistema de biodiscos como una alternativa de tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Encarnación, buscando la protección de los recursos naturales, principalmente del agua, que generalmente es el cuerpo receptor de los efluentes con o sin tratamiento previo.

## Materiales y métodos

### Muestra

El efluente (lixiviado) utilizado para la investigación fue recolectado del Relleno Sanitario de la ciudad de Encarnación. La muestra se ha tomado directamente de la pileta de homogenización, es decir, sin ningún tratamiento previo para evitar tergiversar los resultados finales.

### Diseño del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento (Figura 1) está formado por un reactor horizontal, conteniendo un eje central rotatorio que sujeta los discos, los cuales están en constante contacto con el lixiviado. El eje se mantiene ligeramente por encima de la superficie del líquido, esto significa que la superficie de los

discos está aproximadamente 40% sumergida en todo momento. La rotación del eje es una velocidad constante comprendida entre 1 y 2 rpm. Se formó gradualmente una película biológica de 1 a 3 mm de espesor que fue depositada en las superficies de los discos.

### Parámetros de diseño

Largo (cm)	80
Ancho (cm)	35
Profundidad máxima (cm)	17,5
Capacidad total (l)	38
Velocidad de rotación (rpm)	3
Etapas	3
Cantidad de muestra en el reactor (l)	32
Diámetro de discos (cm)	30

**Figura 1. Reactor de biodiscos a escala laboratorio**



### Etapas de aclimatación (inoculación)

La inoculación o arranque del reactor es el procedimiento llevado a cabo para desarrollar la biopelícula sobre los discos, fomentar las condiciones necesarias para el crecimiento de microorganismos y por ende, iniciar el tratamiento biológico. El reactor se inoculó con un licor de lodo activado preparado con 70 % de efluente doméstico, 30 % de lixiviado y 5 % estiércol bovino (masa/volumen de mezcla). Bajo esta condición el reactor se mantuvo durante 7 días a temperatura ambiente (25–35

°C), para luego iniciar la etapa experimental a flujo discontinuo.

### Operación y control

Se estableció una carga inicial de 32 litros de efluente para asegurar que el área sumergida de los discos sea del 40 %, considerando que mientras mayor sea el área sumergida menor será la oxigenación de los discos, dificultando así el proceso de oxidación de materia orgánica.

Se determinaron parámetros fisicoquímicos al inicio y al final del tratamiento, también se realizó un control diario de otros parámetros como pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos y turbiedad.

### Resultados y discusión

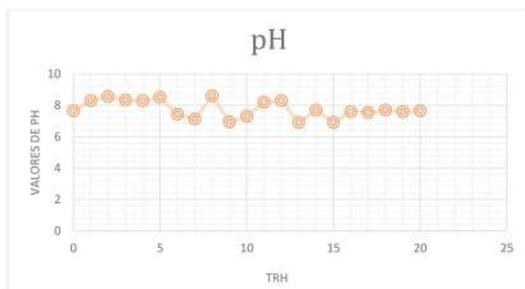
La caracterización inicial del lixiviado mostró niveles elevados en todos los parámetros estudiados, fuera de los límites establecidos por la legislación para su disposición final a cuerpos receptores. Posteriormente, se han modificado las concentraciones iniciales conforme fue pasando el tiempo de tratamiento. A continuación se presentan los resultados del monitoreo de parámetros diarios:

En la gráfica número 1 se presenta el comportamiento del pH desde el inicio hasta el final del tratamiento. Como se puede observar el valor se mantuvo casi constante promediando un 7,8; el valor mínimo registrado fue de 6,9 y un valor máximo de 8,5. El leve aumento del pH durante el proceso de tratamiento en el reactor se debe a la degradación de ácidos grasos volátiles que son constituyentes orgánicos principales del lixiviado (Pérez, 2010).

Según Borzacconi, la elevada concentración de nitrógeno amoniacal y la alcalinidad total

presentes en el lixiviado impiden la reducción de los valores del pH, manteniéndolo en el rango básico, es decir mayor a 7 (citado por Pérez, 2010).

### Gráfica 1. Variación de pH en el reactor de biodiscos



La gráfica número 2 corresponde a la variación de la turbiedad durante el tratamiento. El valor inicial fue de 76 NTU; posteriormente, se evidenció la reducción significativa con un valor mínimo de 20,8 NTU, esto debido a la fijación de coloides a la superficie de los discos y también a la sedimentación de sólidos. Al finalizar el tratamiento el valor final de la turbiedad aumentó nuevamente hasta un valor de 27,9 NTU, debido al desprendimiento de partículas de la biopelícula. La disminución en la turbiedad y del color durante el tratamiento de lixiviados en el reactor se debe a la fijación de material suspendido sobre la superficie de los discos, al igual que la sedimentación pasado cierto periodo de tiempo (Ordóñez, 2003).

### Gráfica 2. Variación de la turbiedad en el reactor de biodiscos

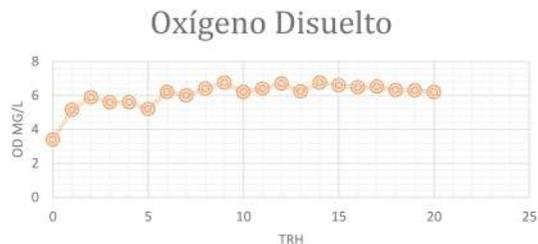


Los sólidos totales disueltos (TDS) en la entrada presentaron una elevada concentración, en correspondencia con las características del efluente proveniente del tratamiento de residuos sólidos. La gráfica 3 muestra un valor inicial de 3,7 g/l que posteriormente disminuye promediando los 2 g/l, con valores mínimos y máximos de 1,1 y 2,9 respectivamente. Esta disminución en la concentración de TDS se debe a la sedimentación de sólidos grandes y a la fijación sobre la superficie de los discos de las partículas pequeñas. No obstante, el desprendimiento de la biopelícula modifica la concentración de dicho parámetro, lo cual se observa desde el día 11 hasta el final del tratamiento.

Según Wiszniowski, (2006) y Romero Rojas, (2008) parte de los sólidos suspendidos en el reactor biológico son removidos por un proceso físico de sedimentación. También puede darse una remoción de sólidos disueltos por procesos biológicos con la degradación de una fracción de compuestos orgánicos, para ello las bacterias hidrolizan los compuestos mencionados, los descomponen o disuelven para posteriormente incorporarlos a su estructura celular (citado por Pérez, 2010).

La conductividad tuvo similar comportamiento a los sólidos totales disueltos, considerando que ambos factores están interrelacionados. El valor inicial del parámetro fue de 7,3 mS/cm, el valor mínimo registrado fue de 2,3 mS/cm y posteriormente, finalizado el periodo de tratamiento la concentración fue de 5,6 mS/cm. La elevada concentración de conductividad se debe a los iones presentes en el agua residual.

### Gráfica 3. Variación de Conductividad/TDS en el reactor de biodiscos.



El oxígeno disuelto (OD) tuvo una relación inversa a la carga orgánica contenida en el lixiviado. Tal como se presenta en la gráfica 4 al iniciar el proceso de tratamiento el OD del agua residual era de 3,4 mg/l, valor bajo debido a la alta carga de compuestos orgánicos oxidables. Conforme fue pasando el tiempo de tratamiento el OD fue en aumento, promediando los 6,8 mg/l, con estos valores se tiene una buena oxigenación y las reacciones bioquímicas se desarrollan de manera satisfactoria.

Ayoub et. al (2004) utilizando un agua sintética, en un reactor de biodiscos de 3 etapas, ha descrito la evolución del OD a lo largo del tiempo de tratamiento. Se evidenció un aumento gradual hasta un valor final de 7,8 mg/l. Esta situación fue similar a lo ocurrido en la presente investigación.

Existe una estrecha relación entre la carga orgánica y el OD, esto se debe a que la degradación aerobia de compuestos orgánicos requiere oxígeno y éste se provee del existente en el agua, por ende, a mayor carga orgánica mayor será la demanda de oxígeno, disminuyendo la concentración de OD en el agua (Pérez, 2010).

**Gráfica 4. Variación de OD en el reactor de biodiscos**

En la tabla 1 se presentan los valores medidos de las variables fisicoquímicas en la entrada y en la salida del reactor de biodiscos.

**Tabla 1. Variación de parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento.**

Parámetro	Valor de entrada	Valor de salida	Porcentaje de remoción
Sólidos totales (g/l)	6,7	2,7	60%
Sólidos volátiles (g/l)	3,9	0,78	80%
Sólidos fijos (g/l)	2,7	1,9	30%
Sólidos suspendidos (mg/l)	640	20	96%
NTK (mg/l)	450	80,6	82%
N Amoniacal (mg/l)	386	44,8	88%
N orgánico (mg/l)	63,6	35,8	44%
Fósforo total (mg/l)	2,5	1,4	44%
DQO (mg/l)	2300	1630	30%
DBO 5 (mg/l)	400	46	96%

Como se puede observar la remoción de sólidos fue aceptable, con una reducción elevada de los sólidos suspendidos y volátiles con 96 % y 80 %, respectivamente. Ambos forman parte de la fracción de sólidos totales que notoriamente se ha reducido de 6,7 g/l a 2,7 g/l debido a la sedimentación en el reactor y a la fijación de partículas menores sobre la superficie de los discos. Teóricamente se establecen remociones de SST optimistas con los reactores de biodiscos, en el orden del 80 % al 95 % de eficiencia (Metcalf y Eddy, 1996), lo cual se ha constatado con las remociones obtenidas durante el desarrollo de esta investigación.

El Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) medido en el agua residual de entrada tuvo una concentración de 450 mg/l. Las fuentes principales de NTK en el lixiviado son desechos domésticos y materia orgánica, posteriormente por acción de bacterias presentes en el relleno sanitario se convierten en nitrógeno amoniacal, el cual se volatiliza en la atmósfera. Tanto el NTK como el Nitrógeno amoniacal presentaron remociones en el orden del 80 % con valores finales de 80 mg/l y 45 mg/l, respectivamente. Considerando lo mencionado por Metcalf y Eddy (1996) las remociones de nitrógeno alcanzadas pueden oscilar entre el 8 % a 12 %. Crites y Tchobanoglus (2000) estimaron que las remociones máximas alcanzadas en un sistema biológico convencional rondan los 12 %. En estos casos la remoción de nitrógeno es atribuida a la síntesis de biomasa. Sin embargo, en esta investigación los porcentajes de remoción fueron mayores a lo establecido en la teoría, lo que hace suponer que la disminución en la concentración de nitrógeno no solo está relacionada con la síntesis sino también con otros procesos.

El fósforo total en el lixiviado tuvo una concentración inicial de 2,5 mg/l. Las principales fuentes de este elemento en el efluente estudiado son principalmente residuos orgánicos y empaques de detergentes con contenido de fosfatos. El porcentaje de remoción de fósforo en el reactor de biodiscos fue del 44 % con una concentración final de 1,4 mg/l. A partir de este resultado se deduce que la eficiencia de remoción fue aceptable, considerando que los sistemas biológicos convencionales no presentan elevada eficiencia de remoción del parámetro en cuestión. Los sistemas biológicos convencionales se caracterizan por la baja eficiencia en la remoción de fósforo; por ello, para aumentar la reducción de fósforo se recomienda la utilización de sistemas fisicoquímicos o

sistemas biológicos avanzados que puedan estimular la incorporación de fósforo en exceso al tejido celular, exponiéndolos a condiciones aerobias y anaerobias alternadamente (Pérez, 2010).

La remoción de materia orgánica carbonosa se evaluó a partir de dos parámetros utilizados frecuentemente en el estudio de aguas residuales: La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda biológica de Oxígeno (DBO).

La concentración inicial de la DQO fue de 2300 mg/l valor elevado, pero normal para este tipo de aguas residuales. Este parámetro está influenciado por compuestos orgánicos generados durante la descomposición de residuos. La remoción de DQO fue del 30 % con una concentración final de 1630 mg/l con lo que se concluye que la eficiencia fue baja, la cual se debe a que el efluente estudiado contiene compuestos difícilmente biodegradables, como ácidos fúlvicos y húmicos. Metcalf y Eddy (1996) establecieron remociones teóricas de DQO del 80 % al 95 % para sistemas RBC; no obstante, esta eficiencia está condicionada por las características del agua residual, pudiéndose registrar porcentajes más bajos de remoción para aguas residuales con contenido de materia orgánica no biodegradable.

La DBO cuantificada al inicio del proceso de tratamiento fue de 400 mg/l, valor bajo considerando la edad de relleno sanitario. La remoción de la materia orgánica biodegradable fue satisfactoria con remociones en el orden del 90 % con una concentración final de 46 mg/l. Investigaciones previas señalan que el alta de remoción de la DBO se debe al elevado contenido orgánico fácilmente biodegradable, también el pH y la concentración de compuestos tóxicos son factores fundamentales a tener

en cuenta, debido a que son inhibidores de la actividad microbiana, responsables del proceso de biodegradación.

### Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos con el desarrollo de la investigación se concluye que el Reactor de biodiscos es eficiente para la remoción de la materia orgánica biodegradable, presente en los lixiviados generados durante la descomposición de residuos sólidos. No obstante, la elevada concentración de la DQO y la baja disminución de este parámetro hacen suponer la presencia de grandes cantidades de materia orgánica de baja biodegradabilidad.

En general la remoción de sólidos fue elevada. Los sólidos suspendidos disminuyeron en un 96 % su concentración inicial, debido a la fijación de partículas pequeñas sobre la superficie de los discos como también a la sedimentación de partículas mayores.

En cuanto a los nutrientes, principales responsables del proceso de eutrofización en cuerpos de aguas, se obtuvieron buenos resultados en la remoción de nitrógeno, no así en el caso del fósforo donde la reducción fue relativamente baja. El nitrógeno total y el nitrógeno amoniacal presentaron reducción en el orden del 80 % sobre la concentración inicial, porcentaje elevado frente a otros procesos biológicos convencionales. En cuanto a la eliminación del fósforo la eficiencia fue del 44 %, un valor aceptable comparado a otros sistemas de tratamiento. Si se requiere una mayor reducción de este contaminante se recomienda la combinación con procesos anaeróbicos.

Considerando los valores elevados de la conductividad y TDS se recomienda para estudios posteriores, la caracterización de los metales pesados presentes en el lixiviado

y ensayar alternativas factibles para su remoción, visto que son tóxicos para los seres vivos y comprometen la óptima conservación de recursos naturales

### Bibliografía

Álvarez, A. (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal". *Ingeniería y Desarrollo*, 95 - 105. Recuperado el Julio de 2019, de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2794/1894>

Behling, E. (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales industriales en reactores RBC*. Recuperado el JULIO de 2019, de [https://www.researchgate.net/Tratamiento\\_biologico\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales\\_efluente\\_camaronero\\_en\\_reactores\\_RBC/links/57e87bee08ae9e5e4558cb5b/Tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-industriales](https://www.researchgate.net/Tratamiento_biologico_de_aguas_residuales_industriales_efluente_camaronero_en_reactores_RBC/links/57e87bee08ae9e5e4558cb5b/Tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-industriales)

Lima, A. (2008). Recuperado el Julio de 2019, de Utilizacao de reator de biodiscos para tratamento de efluentes con altas concentracoes de nitrogenio: <http://www.verlag.com.br/arquivos/2013/10/Nitrifica%C3%A7%C3%A3o-IV.pdf>

Maldonado, I. (2006). Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos. *Revista Ambiental, Agua, Aire y Suelo*, 34 - 47. Recuperado el Julio de 2019, de [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/112/109](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/112/109)

Martinez Lopez, A., & Padrón Hernández, W. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 37-47. Recuperado el 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>

Martínez, A. (2001). Biodiscos, una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. *Tecnología en marcha*, 57 - 59. Recuperado el Julio de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835478>

Ordóñez, P. (2003). *Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de Biodiscos*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/1074/1/paolajimenaordonezlosada.2003.pdf>

Parreiras, S. (2010). *Avaliação de uma estação de tratamento de esgoto compacta, do tipo discos biológicos rotativos*. Recuperado el Julio de 2019, de [http://www.sarsan.com.br/docs/Avaliacao\\_ETE\\_compacta.pdf](http://www.sarsan.com.br/docs/Avaliacao_ETE_compacta.pdf)

Pérez, J. (2010). *Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC o Biodiscos) a escala laboratorio coo tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de La Padrera*. Recuperado el Julio de 2019, de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/44>

Valdés Cabrera, N. (2003). Tratamiento de residuales domesticos empleando un reactor biologico rotatorio. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 49. Recuperado el Julio de 2019, de <https://galeapps.galegroup.com/apps/auth>