

Artículo Original

***ELIMINACIÓN SIMULTÁNEA DE CONTAMINANTES EN FASE
GASEOSA Y LÍQUIDA MEDIANTE BIOFILTRACIÓN***

***CONTAMINANTS IN GAS AND LIQUID PHASE SIMULTANEOUS
ELIMINATION BY BIOFILTRATION***

Yuletsis Díaz Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-0705-1439>
Liliana Salgado González¹ <https://orcid.org/0000-0003-2295-1635>
Rosa Contrera Aviléz¹ <https://orcid.org/0000-0002-6356-0051>
Leira González Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-1176-4597>
Francisca Gonzáles Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0001-9462-8541>
Heidy Toledo León¹ <https://orcid.org/0000-0002-6268-9646>

¹ Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), Churrucá #481, Cerro, La Habana, Cuba.

Recibido: Agosto 27, 2019; Revisado: Noviembre 15, 2019; Aceptado: Noviembre 22, 2019

RESUMEN

Introducción:

La biofiltración de gases sobre lecho fijo orgánico funciona como filtro natural con alta porosidad y propiedades de sorción. Por una parte, retiene los contaminantes por procesos físico químicos y por otra sirve de soporte para el crecimiento de microorganismos degradadores. La aplicación de mezclas complejas como lodos activos para inoculación de biofiltros, resulta más conveniente que el empleo de especies aisladas. Con ello se garantiza un medio de cultivo favorable para el desarrollo de microorganismos, que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como azufre, carbono, nitrógeno y fósforo. Sin embargo, pueden surgir problemas en cuanto a las regulaciones para el vertimiento del efluente a fin de preservar la calidad de las aguas terrestres receptoras.

Objetivo:

Evaluar la calidad del efluente residual de un sistema de tratamiento biológico de gas natural

Materiales y Métodos:

Para ello se determinaron parámetros químicos y microbiológicos según normas (APHA-AWWA-WEF, 2005) e ISO.



Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Yuletsis Díaz, Email: yuletsis@ceinpet.cupet.cu



Resultados y Discusión:

Se demostró que existe un crecimiento de bacterias y hongos degradadores de $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ del gas natural de $6,0 \cdot 10^8 \text{ UFC.mL}^{-1}$; y se corroboró que existe un aumento gradual de la concentración de sulfato de 20,4 a $867,51 \text{ mg.L}^{-1}$, como producto de esa degradación.

Conclusiones:

Se observó una fuerte correlación entre el desarrollo bacteriano y la disminución del contenido de nitrógeno en el sistema y fue posible remover en el efluente otros indicadores de contaminación tales como coliformes fecales, DQO, DBO y sólidos sedimentables, con el fin de mejorar la calidad del vertimiento.

Palabras clave: biofiltración; contaminación; efluente; gas natural.

ABSTRACT

Introduction:

Gas biofiltration in an organic fixed bed works as a natural filter with high porosity and sorption properties. It retains contaminants by physical-chemical processes and on the other hand, it supports the growth of degrading microorganisms. Complex mixtures such as active sludge application for biofilters inoculation is more convenient than the isolated species use. This guarantees a favorable culture medium for microorganisms development, which close biogeochemical cycles of elements such as sulfur, carbon, nitrogen and phosphorus. However, problems may arise with regard to effluent discharge regulations in order to preserve quality of receiving ground waters.

Objective:

To evaluate the quality of a residual effluent from biological treatment system of natural gas.

Materials and Methods:

Chemical and microbiological parameters were determined according to the (APHA-AWWA-WEF, 2005) and ISO standards.

Results and Discussion:

It was demonstrated that there is a growth of bacteria and fungi degraders of $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ of natural gas of $6.0 \cdot 10^8 \text{ CFU.mL}^{-1}$; and it was corroborated that there is a gradual increase in sulphate concentration from 20.4 to 867.51 mg.L^{-1} , as a result of this degradation

Conclusions:

A strong correlation between the bacterial development and the decrease of nitrogen content in the system was observed; and it was possible to remove other pollution indicators as fecal coliforms, COD, BOD and sedimentable solids in effluent, in order to improve discharge quality.

Keywords: biofiltration; contamination; effluent; natural gas.

1. INTRODUCCIÓN

Como alternativa a los tratamientos de gases de tipo convencional surgieron los tratamientos biológicos. Tales procesos se basan en la utilización de microorganismos para la oxidación de los componentes contaminantes a compuestos menos dañinos.

Además, presentan menor costo de instalación y puesta en marcha, así como una gran eficacia durante su funcionamiento, lo que los convierte en una tecnología cada vez más demandada para el control de las emisiones gaseosas (Antunez-Rizzolo et al., 2014).

En función de la forma de operar, se pueden encontrar tres tipos de tratamientos biológicos: biolavadores, biofiltros de escurrimiento y biofiltros propiamente dichos. Se diferencian entre ellos según la presencia o no de un soporte, la fase móvil y el estado de la biomasa activa (Revah-Moiseev y Ortíz, 2010). El caso del biofiltro escurrido consiste en una columna empacada (Ramírez-Muñoz, 2007), sobre el cual se desarrolla una biopelícula, con una fase líquida continua en recirculación. La actividad de la biopelícula adherida sobre el soporte se mantiene al circular una solución rica en nutrientes.

En trabajos anteriores, se ha comentado que un medio con estas características son los lodos activos de plantas de tratamiento de residuales (PTR) líquidos, ya que forman parte de las fuentes más comunes de microorganismos. La microbiota presente en estos lodos presenta una previa adaptación en su metabolismo que les permite asimilar concentraciones elevadas de sustratos (Díaz-Rodríguez, 2016; Estrada et al., 2013) como el sulfuro de hidrógeno ($H_2S_{(g)}$). Constituyen, por tanto, un medio de cultivo favorable para el desarrollo de los microorganismos, que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el azufre, el carbono, el nitrógeno y el fósforo (Rincón-Castillo et al., 2012).

Existen diferentes géneros de bacterias capaces de oxidar el azufre. La mayor parte de estos géneros pertenecen a las bacterias incoloras del azufre, las cuales juegan un papel esencial en la parte oxidativa del ciclo del azufre. Dicho ciclo cuenta con una parte oxidativa y una reductiva, las cuales se encuentran de igual manera en los ecosistemas. En la parte reductiva, el sulfato (SO_4^{-2}) o azufre elemental (S^0) funcionan como un receptor de electrones en la ruta metabólica utilizada por un amplio rango de bacterias anaeróbicas, principalmente para la producción de sulfuro. En la parte oxidativa del ciclo, los compuestos reducidos de azufre funcionan como donadores de electrones para bacterias anaeróbicas fototróficas, o el crecimiento proporciona energía para los grupos extremadamente diversos que ellas poseen (Ramírez-Muñoz, 2007). Los productos de oxidación común del sulfuro son el S^0 o SO_4^{-2} y fijan $CO_{2(g)}$ simultáneamente como función estequiométrica del proceso (Varnero et al., 2012).

A pesar de la importancia del ahorro del agua, la reducción del impacto ambiental que genera la descarga, tiene más valor, si las aguas residuales van a ser vertidas a un cuerpo receptor natural para proteger la fauna y flora presentes en dicho cuerpo receptor. De ahí que se tenga como objetivo evaluar la calidad del efluente residual de un sistema de tratamiento biológico de gas natural para la valoración de la efectividad de esta alternativa en torno al manejo de su residual líquido durante la operación de desulfuración. De este modo se deriva la adopción de nuevos métodos que faciliten el manejo de los efluentes y su disposición final.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de biofiltración utilizado en la evaluación consiste en un sistema de dos etapas que emplea dos columnas de vidrio de 50 cm de altura y 10 cm de diámetro interno, conectadas en serie. Las mismas cuentan con un distribuidor de líquidos en la

parte superior y un tubo de vidrio para el drenaje. El flujo de gas natural a desulfurar y la alimentación de lodo activo se midieron a partir de rotámetros (Díaz-Rodríguez, 2019), donde el gas que sale de la primera columna se incorpora a la otra columna por el fondo de la misma. El relleno de las columnas está formado por fibras de kenaf con tamaño de partículas entre 3 y 6 mm. El soporte del relleno está construido a partir de una malla plástica que permite el paso de ambas fases (líquida y gaseosa). La representación del sistema se muestra en la figura 1.

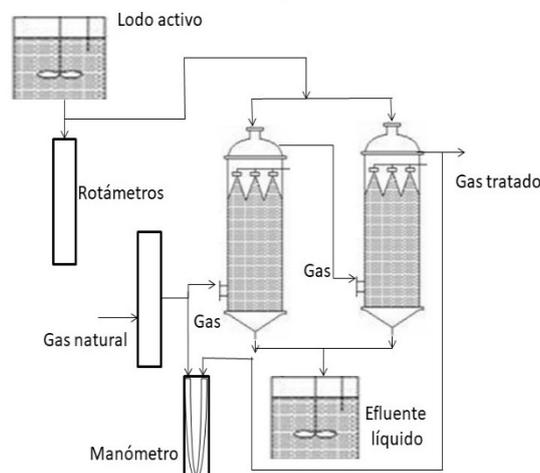


Figura 1. Esquema del sistema de biofiltración en dos etapas en serie a pequeña escala.

Fuente: Modificado de Ramírez-Muñoz, (2007)

2.1. Caracterización química y microbiológica de la fuente microbiana y efluente del proceso.

La fuente microbiana que se utilizó en los experimentos fueron los lodos activos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Para su análisis químico y microbiológico inicial, antes de que transcurriesen 24 horas, se colectó una muestra del mismo de forma manual en frascos estériles de 1 L de capacidad. Los análisis químicos que se determinaron fueron: pH (ISO 10523, 2012), nitrógeno total (ISO 10048, 1991), fósforo total, sulfato, sólidos sedimentables (APHA-AWWA-WEF, 2005), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (ISO 6060, 1989) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (ISO 5815, 2003). La evaluación del crecimiento microbiano en el sistema, bajo las condiciones impuestas, se realizó mediante el conteo de bacterias heterótrofas mesófilas (ISO 8199, 2005), hongos y levaduras (ISO 7954, 2012); y coliformes totales y fecales (ISO 9308-2, 2014). Los análisis se realizaron al efluente del proceso durante un período de 11 semanas, con frecuencia semanal. A la data experimental obtenida se le realizó análisis estadístico de correlación entre las variables empleando *Statgraphics Centurion XV.II*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo microbiano durante el proceso de desulfuración en columnas dispuestas en serie evidencia un crecimiento exponencial a partir de la tercera semana, correspondiente al término de la etapa de adaptación. El crecimiento microbiano alcanzó valores entre 10^8 UFC.mL⁻¹ y 10^{11} UFC.mL⁻¹ en el efluente y la superficie de la fibra, respectivamente; hasta la décima semana de monitoreo. Tal situación se refiere en

estudios preliminares como superiores al crecimiento evaluado por 4 semanas (Díaz-Rodríguez, 2019). La microbiota de los lodos de la planta de tratamiento de residuales líquidos presenta una previa adaptación en su metabolismo que les permite asimilar concentraciones elevadas de $H_2S_{(g)}$ del gas natural, pues reciben las descargas de las industrias en donde se genera este contaminante (Arana de Pablo, 2010).

Los resultados anteriores confirman lo expuesto en otros estudios (Díaz-Rodríguez, 2016), de que los microorganismos se encontraban en un medio favorable para su crecimiento. Además, se refiere que solo sobreviven los microorganismos adaptados a las condiciones impuestas. Una prueba de ello se manifiesta en el número más probable (NMP en 100 mL) de Coliformes Totales y Fecales presentes en el efluente líquido del proceso, donde se observa una disminución de los Coliformes Fecales (Figura 2), ya que no existe aporte de contaminación fecal al medio y las condiciones impuestas no son favorables para su reproducción. Cabe destacar que el significado sanitario de los coliformes en el agua, fundamentalmente la *Escherichia coli.*, viene dada no por su patogenicidad sino por la evidencia de la ya mencionada contaminación fecal y alta probabilidad de presencia de otros patógenos (Díaz-Betancourt, 1987).

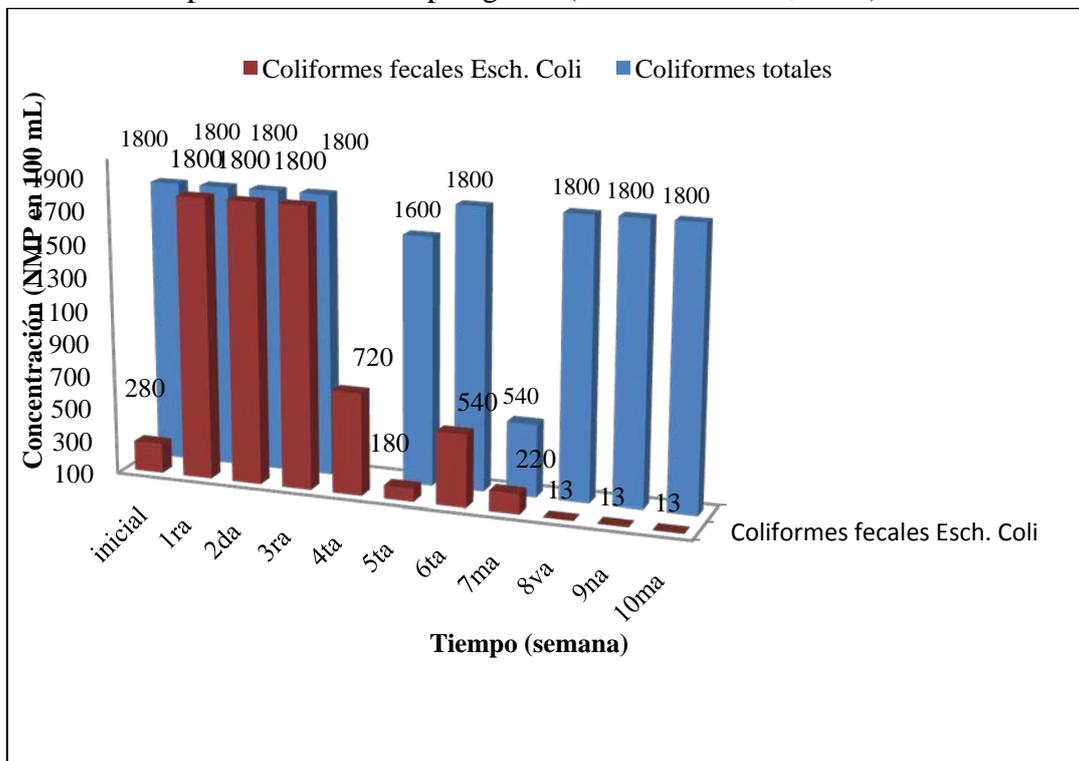


Figura 2. Crecimiento de coliformes fecales y totales en efluente residual expresado en NMP en 100 mL en función del tiempo de tratamiento

Al cabo de seis semanas, el contenido de Coliformes Fecales se encontró dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) (1000 NMP en 100 mL) para su vertimiento en cuerpos receptores clase B de zonas no saturadas según la norma cubana de Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado (NC 27, 2012). Los mismos pueden ser zonas hidrogeológicas de aguas utilizadas para el riego agrícola de cultivos que se consuman crudos, donde se desarrollen actividades recreativas de contacto con el agua, entre otros.

Por otro lado, la caracterización química mostró el comportamiento del proceso

teniendo en cuenta la concentración de sulfatos y el pH en el medio líquido, a la salida del biofiltro desulfurador, lo que se exhibe en la figura 3. En este sentido se obtuvieron las mayores concentraciones de sulfato a pH entre 6 y 8. Algunos autores informan que no percibieron una disminución de la eficacia de eliminación a pH en el rango 6,8-8,5, solo se daba el efecto inhibitorio del sulfato a pH igual a 2 (Ramírez-Muñoz 2007; Jones et al., 2005).

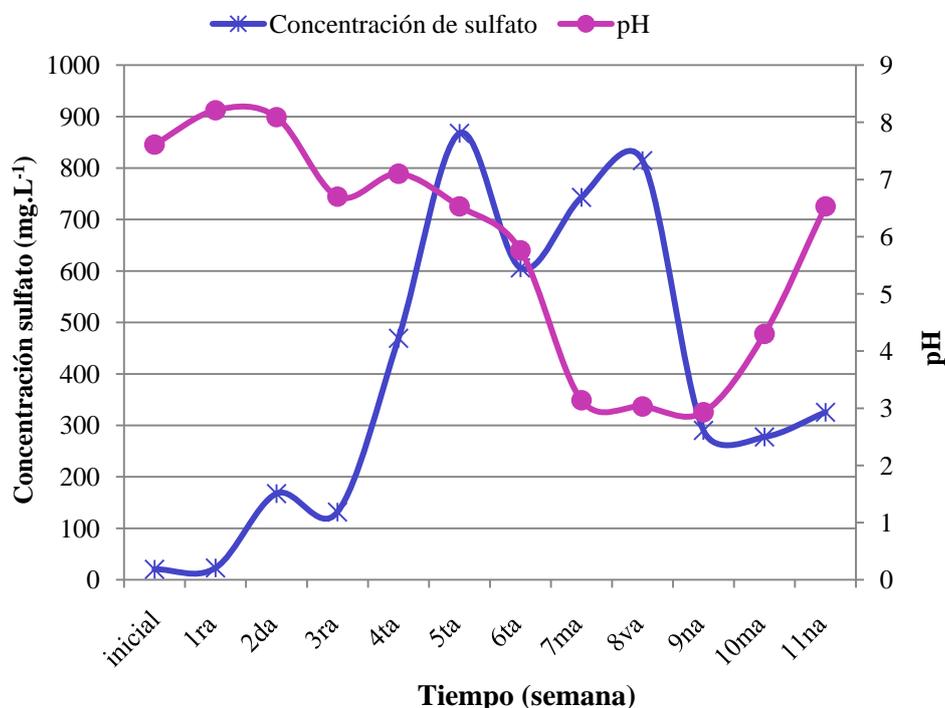


Figura 3. Formación de sulfato como producto de la degradación residual contra tiempo de tratamiento y acidificación de medio. Fuente: elaboración propia.

A fin de conocer la influencia de la carga microbiana, presente en el medio, sobre algunas de las variables evaluadas indicadoras de contaminación se realizó el análisis de correlación de múltiples variables. Tal conducta reflejó que existe una fuerte correlación entre las variables, aunque algunas de una forma no lineal (Figura 4). Así mismo, la matriz de correlación exhibió la fuerza de la relación lineal entre las variables, donde el rango de los coeficientes de relación se encontró entre -1 y 1. La fuerza se determinó por la cercanía a uno de esos valores.

El crecimiento de bacterias en el medio se encuentra influenciado de manera similar por todos los predictores, aunque el signo negativo del nitrógeno y el pH indican que los valores de estos disminuyen al incrementarse el crecimiento de los microorganismos en el efluente. Sin embargo, la disminución del pH en la 8va semana a valores alrededor de 3, evidencia una ligera disminución del crecimiento de los microorganismos. Al respecto, algunos autores refieren que observaron eficiencias de remoción de 87% con pH entre 2-3 unidades, pero también informan que bajos pH tienden a inhibir la actividad biológica y a disminuir progresivamente la eficiencia de remoción (Jaber et al., 2016).

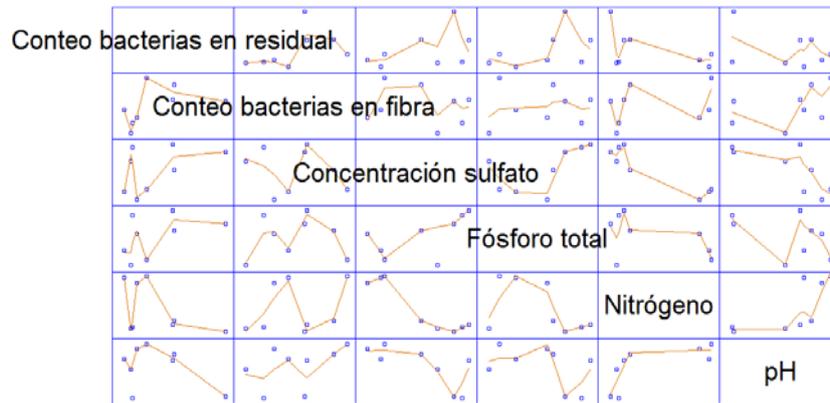


Figura 4. Gráfico de matriz suavizado para análisis de múltiples variables

Para el contenido de nitrógeno se observan los resultados durante el monitoreo del proceso, como muestra la figura 5. Además, en la matriz de correlación se destaca esta misma variable, ya que el valor de su coeficiente de correlación está más cercano a -1 respecto a la concentración de sulfato. Así mismo, mantienen una estrecha relación ya que exhiben una correlación lineal estadísticamente significativa en un nivel de confianza del 95%, por tener un valor P menor que 0,05. Sobre la base de lo expuesto anteriormente, se puede decir que las mayores consumidoras de nitrógeno son las bacterias y consecuentemente, para este caso, las encargadas de la remoción del mismo en el medio.

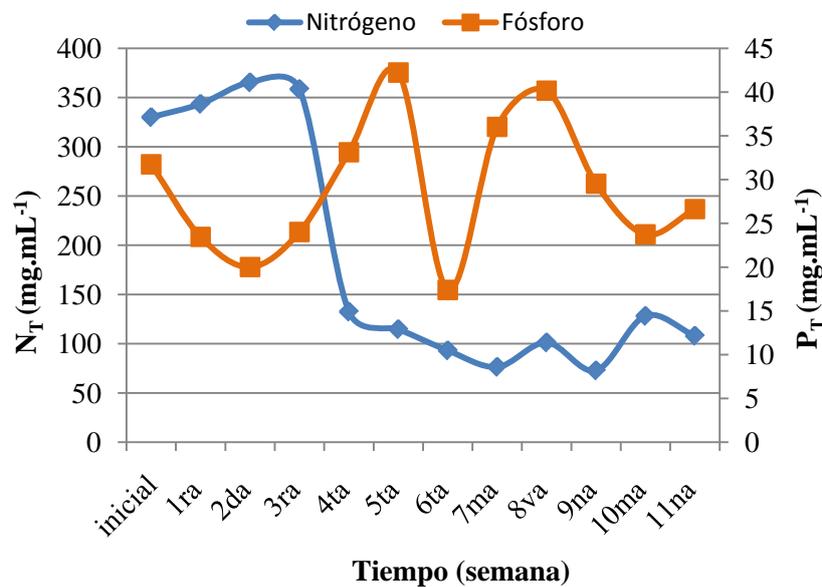


Figura 5. Contenido de nitrógeno total y fósforo total en el influente y efluente del proceso de biofiltración en serie

El contenido de fósforo en el medio no se encuentra influenciado de igual forma. Este compuesto es tomado como micronutriente por los microorganismos (Rincón-Castillo et al., 2012), de ahí su acumulación en el medio por la adición del lodo fresco al sistema. Como consecuencia, se producen fluctuaciones de los valores de concentración durante el proceso. Este hecho afecta la calidad del agua para su vertimiento, puesto que el LMP es de 10 mg.L⁻¹ de fósforo para ríos, embalses y zonas hidrogeológicas de menor valor

(NC 27, 2012). En la literatura se informan diferentes métodos para disminuir la concentración de fósforo, aunque resaltan el tratamiento biológico que consiste en el paso de los fangos en retorno por un reactor anaerobio que permita el desprendimiento del fósforo, y, a continuación, por una fase aerobia que permita su precipitación o absorción por la masa bacteriana (Saldarriaga et al., 2011). Tal configuración pudiera tenerse en cuenta en evaluaciones posteriores del proceso.

Otros indicadores de contaminación como DQO, DBO₅ y sólidos sedimentables también fueron analizadas durante el tiempo de tratamiento (Figura 6).

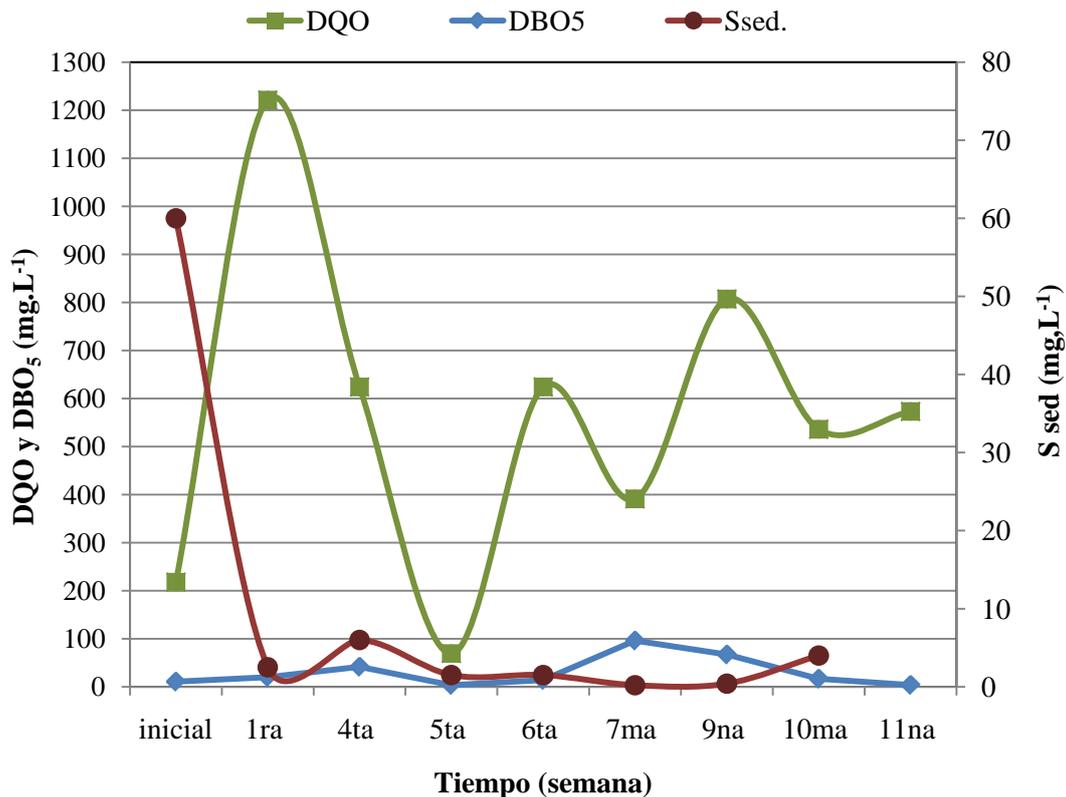


Figura 6. Otros indicadores de contaminación en el influente y efluente del proceso de biofiltración en serie

Las oscilaciones de la DQO pueden ser producto del aumento del contenido de sulfuros en el medio o la incorporación de otros compuestos que están contenidos en el material filtrante, no susceptibles a la oxidación y compuestos que incrementan el contenido de materia orgánica, representada por la DQO, en ese mismo período de tiempo. Aunque al final del tratamiento la concentración de este compuesto en el medio fue inferior a 1. Sin embargo, tanto este indicador de contaminación como la DBO₅ y sólidos sedimentables se encontraron por debajo del Límite Máximo Permisible Promedio para su vertimiento al cuerpo receptor (<700, <300 y <10 respectivamente), según la (NC 27, 2012).

Cabe destacar que, aunque el objeto fundamental del sistema consiste en la biodesulfuración del gas natural, lo cual se evidencia con la ya mencionada formación de sulfato como producto de la degradación y una eficiencia de remoción de H₂S (g) alrededor de 20% (Díaz-Rodríguez, 2019), también fue posible remover otros

indicadores de contaminación en el líquido residual utilizado como fuente microbiana, a fin de mejorar la calidad para su vertimiento. El hecho de que en el proceso se produzca simultáneamente la degradación de contaminantes, tanto en la fase líquida como en la gaseosa, constituye una facilidad sostenible que elimina tratamientos posteriores al residual del proceso.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de importantes indicadores de la contaminación para el vertimiento del efluente de un proceso de biofiltración de gas natural, acorde a las premisas establecidas en el presente estudio, indica que en el tratamiento de biodesulfuración se da lugar a que:

1. El crecimiento de microorganismos degradadores de compuestos azufrados se corresponda con la formación de sulfato producto de la degradación y los Coliformes Fecales en el efluente disminuyan hasta 13 NMP en 100 mL, valor permisible para su vertimiento.
2. Los contenidos de DQO, DBO₅, sólidos sedimentables y nitrógeno se reducen hasta valores inferiores a los 700 mg.L⁻¹, 300 mg.L⁻¹, 10 mL.L⁻¹ y 20 mg.L⁻¹ respectivamente, establecidos por la norma.

REFERENCIAS

- Antunez-Rizzolo, J., de Castro-Santos, V.C., Soares, M., Lorenci-Woiciechowski, A., Soccol, C.R. Biofiltration of Volatile Organic Compounds of Brazilian Gasoline., *International Journal Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 57, No. 1, Feb., 2014, pp. 119-124 .
- APHA-AWWA-WEF., *Standard Methods for the examination of water and wastewater.*, 21st ed. American Public Health Association, USA, 2005, pp. 4-151, 4-188, 2-58.
- Arana de Pablo, Á., *Biofiltro edificio de tamices de la E.D.A.R de Arazuri: estudio y propuesta de mejoras.*, Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Pública de Navarra, España, 2010.
- Díaz-Betancourt, R., *Tratamiento de aguas y aguas residuales.*, Editorial ISPJAE, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 1987, pp. 320-512.
- Díaz-Rodríguez, Y., *Efecto hidrodinámico de la fibra kenaf en biofiltro para la desulfuración del gas natural cubano.*, Tesis presentada de opción al Grado Científico de Master en Control y Análisis de Procesos, Especialidad de Ingeniería Química en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba, 2016.
- Díaz-Rodríguez, Y., Salgado, L. & Mustelier, S.P., *Evaluación de la desulfuración de gas natural cubano en sistemas de biofiltración de una y dos etapas.*, *Revista Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente, TDMA*, Vol. 39, No. 75, 2019, *In press*.
- Estrada, J.M., Hernández, S., Muñoz, R., Revah, S., *A comparative study of fungal and bacterial biofiltration treating a VOC mixture.*, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 250-251, Ene. 2013, pp. 190-197.
- ISO, 10048., *Determination of nitrogen. catalytic digestion after reduction with Devarda's Alloy. Water quality.*, International Organization for Standardization

- (ISO), Geneva. Switzerland, 1991, pp. 1-7.
- ISO, 10523., Water quality. Determination of pH., Geneva, Switzerland International Organization for Standardization (ISO), 2012, pp. 1-13.
- ISO, 5815., Water quality - Determination of biochemical oxygen demand after n days (DBO₅). Part 1: Dilution and seeding method with allylthiourea addition., International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2003, pp. 1-15.
- ISO, 6060., Water quality - Determination of the chemical oxygen demand., Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization (ISO), 1989, pp. 1-4.
- ISO, 7954., Microbiology-General Guidance for enumeration of yeasts and moulds- Colony count technique at 25°C., Stage: 90.9 ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2012, pp. 1-7.
- ISO, 8199., Water quality – General guide to the enumeration of microorganisms by culture., International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2005, pp. 190-205.
- ISO, 9308-2., Water quality - Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria - Part 2: Most probable number method., International Organization for Standardization (ISO), Geneva. Switzerland, 2014, pp. 1-9.
- Jaber, M.B., Couvert, A., Amrane, A., Rouxel, F., Le Cloirec, P., Dumont, E., Biofiltration of high concentration of H₂S in waste air under extreme acidic conditions., *New Biotechnology*, Vol. 33, No. 1, 2016, pp. 136-143.
- Jones, K., Martinez, A., Rizwan, M., Boswell, J., Sulfur toxicity and media capacity for H₂S removal in biofilters packed with a natural or a commercial granular medium., *Journal of the Air & Waste, Management Association*, Vol. 55, No. 4, 2005, pp. 415-420.
- NC 27., Vertimiento de aguas residuales a la zona terrestres y el alcantarillado. Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización (ONN-NC), La Habana, Cuba, 2012, pp. 1-14.
- Ramírez-Muñoz, M., Viabilidad de un proceso para la eliminación conjunta de H₂S y NH₃ contenido en efluentes gaseosos., Tesis presentada de opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Universidad de Cádiz, Cádiz, España, 2007.
- Revah-Moiseev, S., & Ortíz, I., Tratamiento-El Desarrollo de Bioprocesos para el Tratamiento de Aire Contaminado Emitido por Fuentes Fijas., Parte 1, Estructurplan online. 2010. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidos-y-gaseosos/el-desarrollo-de-bioprosos-para-el-tratamiento-de-aire-contaminado-emitado-por-fuentes-fijas-parte-1/>
- Rincón-Castillo, Á., Baquero, J.E., Flórez, H., Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia., Villavicencio (Meta), Colombia., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Manual Técnico No. 16; Mar., 2012, pp. 25-56.
- Saldarriaga, J.C., Hoyos, D.A., Correa, M.A., Evaluación de procesos biológicos unitarios en la remoción simultánea de nutrientes para minimizar la eutrofización., *Revista EIA*, No. 15, 2011, pp. 129-140.
- Varnero, M.T., Galleguillos, K., Achondo, P., Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica., *Información Tecnológica*.

Vol. 23, No. 2, 2012, pp. 31-40.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

- M.Sc. Yuletsis Díaz Rodríguez. Elaboró, desarrolló y dirigió la investigación. Participó en la realización de los análisis y la discusión de estos resultados. Dirigió la discusión de los resultados de la investigación. Realizó la escritura del artículo.
- Téc. Liliana Salgado González. Participó en el desarrollo experimental de la investigación y en la realización de los análisis químicos.
- Lic. Rosa Contrera Aviléz. Participó en la realización de los análisis químicos y procesamiento de resultados. Participó en la discusión de los resultados de la investigación.
- Téc. Leira González Hernández. Participó en la realización de los análisis químicos
- Téc. Francisca Gonzáles Hernández. Participó en la realización de los análisis microbiológicos.
- Lic. Heidy Toledo León. Participó en la discusión de los resultados de los análisis microbiológicos.