

BIOFILTRACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO NORTE DE AGUAS RESIDUALES

Biofiltration for the removal of hydrogen sulfide in the North Pumping Station Wastewater

Fecha de recibo del artículo: Julio de 2011 - Fecha de aceptación: Septiembre de 2011

Antonio Álvarez Mancilla

Universidad del Magdalena - Santa Marta, Colombia, ing.alvarezm@gmail.com

Juan Carlos Jiménez Benítez

ASA Ingeniería - Santa Marta, Colombia, gerenciadeproyectos@asaingenieria.com

Yiniva Camargo Caicedo

Universidad del Magdalena - Santa Marta, Colombia, ycamargo@unimagdalena.edu.co

RESUMEN

Las estaciones de bombeo de aguas residuales generan olores ofensivos debido a la presencia de compuestos sulfurados, ocasionando molestias a las comunidades ubicadas en las proximidades. Se implementó un sistema biológico para la reducción del sulfuro de hidrógeno en la Estación de Bombeo Norte del Distrito de Santa Marta, para lo que se diseñaron, construyeron e instalaron dos biofiltros en material acrílico con una altura de 2 m y un diámetro interior de 20,32 cm, cargados con bagazo de caña de azúcar como medio de soporte. El sistema disponía de alimentación de aguas residuales para mantener la humedad y los nutrientes de los microorganismos, dispositivos de dosificación, control y toma de datos. Los resultados registraron reducción de altas cargas de sulfuro de hidrógeno y eficiencias de remoción de hasta 100%; sin embargo, se requirió de un período de estabilización de 14 días, para mantener las máximas eficiencias obtenidas.

Palabras clave

Aguas residuales, biofiltración, olores ofensivos, sulfuro de hidrógeno.

ABSTRACT

Wastewater pumping stations generate offensive odors due to the presence of sulfur compounds, this can cause inconvenience to the communities near these places. A biological system was implemented for the reduction of hydrogen sulfide in North Wastewater Pumping Station of Santa Marta. Were designed, built and installed two biofilters in acrylic with a height of two meters and an inside diameter of 20,32 centimeter, loaded with sugar cane bagasse as a means of support. The system available of permanent wastewater supply for maintains moisture and nutrients for microorganism, as well as metering, control and data acquisition devices. The results showed reduction of high loads of hydrogen sulfide and removal efficiencies of up to 100%, however it required a stabilization period of 14 days, to maintain the maximum efficiency gains.

Keywords

Biofilter, wastewater, odors, biofiltration, hydrogen sulfide.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes inorgánicos del aire se encuentran entre aquellos que requieren atención especial por los significativos impactos ambientales (en la salud humana, la vegetación, la infraestructura, o el medio ambiente global), así como por la escasa respuesta a las técnicas físicas de control de contaminación del aire (ejemplo: filtros, captura de vapor y condensación). Muchos de estos contaminantes inorgánicos (como el cianuro de hidrógeno y el sulfuro de hidrógeno) pueden ser asociados con efectos severos y agudos a la salud como consecuencia de accidentes industriales. A partir de la evidencia sobre el impacto a largo plazo de los contaminantes atmosféricos inorgánicos, muchos investigadores se han enfocado en el desarrollo y optimización de innovadores sistemas de control de contaminación del aire que puedan cumplir con las regulaciones cada vez más estrictas sobre las emisiones de estas sustancias químicas [1], [2], [3].

Existen dos categorías principales de compuestos inorgánicos nitrogenados y sulfurados en el aire: i) compuestos que causan olores, como es el caso del amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y aminas; y ii) óxidos de sulfuro y de nitrógeno que contribuyen a la lluvia ácida y a la formación de smog. En la actualidad se encuentran disponibles diversas tecnologías para el tratamiento de contaminantes inorgánicos en el aire emitidos por procesos industriales, plantas de tratamiento de aguas residuales, tratamiento de lodos, instalaciones de compostaje y operaciones de procesamiento de alimentos [4]. Estas tecnologías se dividen en tres categorías principales: químicas (lavador químico húmedo, oxidación térmica, óxido-reducción catalítica, fotocatalisis), físicas (absorción, adsorción y separación de membrana) y biológicas (biofiltración, biolavador, filtración por goteo).

La selección de una tecnología en particular o la combinación de tecnologías depende de muchos parámetros, incluyendo las especificaciones del sitio, las capacidades de operación y mantenimiento, los objetivos del tratamiento, las cargas contaminantes, las tasas de flujo de aire, y las características del contaminante. Recientemente, los métodos de tratamiento biológico han aumentado su aplicación en compuestos inorgánicos olorosos tales como el amonio, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de nitrógeno y azufre [5], [6].

La biofiltración se ha utilizado para el tratamiento de gases generadores de olores ofensivos en plantas de tratamiento de aguas residuales desde la década de los cincuenta, y en la actualidad se utiliza para el tratamiento de una amplia gama de gases residuales, incluyendo los compuestos orgánicos volátiles [5], [7], [8], y compuestos inorgánicos olorosos (NH_3 , H_2S y aminas) [9], [10]. Igualmente, se utiliza en el tratamiento de otros contaminantes inorgánicos en el aire, tales como NO_x [11]. Su aplicación se ha extendido por la eficiencia reportada y la relación costo-beneficio en la eliminación de contaminantes generadores de olores ofensivos.

En este estudio se presentan los resultados de la aplicación de la biofiltración como tecnología para la remoción de sulfuro de hidrógeno procedente de aguas residuales de la Estación de Bombeo de Aguas Residuales Norte de la empresa Metroagua S. A. E.S.P., ubicada en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La aplicación de esta tecnología para la remoción de sulfuro de hidrógeno, en el presente estudio, permitió el diseño de un biofiltro a escala piloto en el que se evaluó la eficiencia utilizando un medio de soporte específico, capaz de suministrar la biomasa y los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, y que en forma eficaz redujera la concentración en el aire del contaminante de interés, y en consecuencia los olores ofensivos producidos en la estación de bombeo de aguas residuales.

Inicialmente fue necesario tener en cuenta las características básicas del sistema de biofiltración, para establecer los parámetros para su montaje, desde la selección del material utilizado como soporte, el diseño, la construcción y operación, hasta la identificación de las variables de monitoreo permanente.

Área de estudio

Las instalaciones de la Estación de Bombeo de Aguas Residuales Norte (EBAR Norte) de Metroagua S. A. E.S.P., se encuentra en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta, ciudad a tan sólo 4 msnm, con una población proyectada de 447.857 habitantes para el 2010, según el censo del DANE del año 2005; predominio de clima seco tropical con temperatura promedio de 28°C y una oscilación extrema entre los 24°C y 37°C, y precipitación media anual de 362 mm. La EBAR Norte se ubica en las coordenadas 11°14'59,42" N y 74°12'45,79" O (Figura 1), donde se reúnen las aguas residuales generadas en el Sistema Sur (Rodadero, Gaira, Salguero) y el Sistema de Santa Marta.

La EBAR Norte está constituida por un pozo húmedo y cuatro equipos de bombeo que trabajan en paralelo: dos con capacidad de 300 l/s

cada uno, y dos con capacidad de 600 l/s cada uno, que impulsan las aguas residuales para su disposición final al mar a través del emisario submarino.

Medio de soporte

Los parámetros que deben tenerse en cuenta para la selección del medio de soporte adecuado son el pH, el contenido de humedad, y la cantidad y calidad de la biomasa (microorganismos).

El pH debe ser siempre superior a 3,2 para evitar que en la fase de operación se destruya la población biológica activa, conduciendo a la disminución progresiva en la eficiencia de remoción del sistema [12]. La alta variación del pH puede resultar en pérdida de diversidad de la población microbiana, e incluso destruir a la población residente [13]. El contenido de humedad del material de soporte se encuentra directamente relacionado con la actividad microbiológica [14], aunque el rango de operación puede ser muy amplio. En un estudio, Philip & Deshusses [12] utilizaron compost como material de soporte, reportando eficiencia en la remoción de sulfuro de hidrógeno de aproximadamente 99,9%, cuando el contenido de humedad osciló entre el 30 y el 62%. La biomasa es suministrada por los microorganismos que crecen en los medios de soporte con cantidades adecuadas de bacterias sulfoxidantes.

A partir de los parámetros relacionados anteriormente, se seleccionó como medio de soporte el bagazo de caña de azúcar, cuya composición física y química se resume en la Tabla 1; este medio de soporte fue acondicionado previamente antes de ser utilizado en los biofiltros, mediante un proceso de secado en un horno a 120°C durante 24 horas, para luego ser cortado en trozos de aproximadamente 5 cm de longitud.



Figura 1. Ubicación de la EBAR Norte

Tabla 1. Composición física y química del bagazo de caña de azúcar [15]

Composición química, %		Composición física	
C	43,22	Diámetro de la partícula (cm)	1-2
H	6,097	pH	6,24
N	0,006	Contenido de humedad (%)	48,3
S	0,81	Peso húmedo (g)	180
O*	43,95	Peso seco (g)	121,3
Ash	5,91	Área superficial (m ² /g)	4,146
		Volumen total de poros (cm ³ /g)	0,0041
		Diámetro promedio de poros (Å)	39,429
		Volumen máximo de poros (cm ³ /g)	0,009
		Diámetro total de poros (Å)	4.887,11

$$O^* = 100 - (C + H + N + S) - \text{Ash}$$

Diseño, construcción y operación de biofiltros

En el diseño y construcción de los biofiltros se utilizaron dos columnas cilíndricas en material acrílico, con dimensiones de 2 m de altura y diámetro interior de 20,32 cm, cargadas con el medio de soporte en bagazo de caña de azúcar a 1 m de altura en cada biofiltro y una densidad aproximada de $0,0815 \text{ g/cm}^3$, y luego se sellaron con tapas en acrílico, comprobando la ausencia de fugas de aire (Figura 2).

Se instaló en la parte superior un sistema que a su vez estaba conectado a un tanque alimentador de aguas residuales con capacidad de 20 litros, que permitió mantener el medio de soporte húmedo y los nutrientes adecuados para los microorganismos, mientras el flujo de agua fue controlado con un equipo de macrogoteo,

que garantizó la humidificación intermitente del medio. En la parte inferior de los biofiltros se añadió una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada con una válvula de cierre fácil, que sirvió como desagüe del agua residual utilizada para humedecer el lecho.

Para el bombeo del aire contaminado con sulfuro de hidrógeno se utilizaron bombas ELITE 802 que operan a un caudal de aire constante de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, ubicándolas en las proximidades a cada uno de los colectores de aguas residuales, para así garantizar una eficiente recolección del gas contaminante. Los biofiltros fueron ubicados para su operación cerca a uno de los colectores de aguas residuales que registra la mayor producción de sulfuro de hidrógeno, en las condiciones que se resumen en la Tabla 2.

En cada uno de los biofiltros se calculó la eficiencia de remoción de sulfuro de hidrógeno

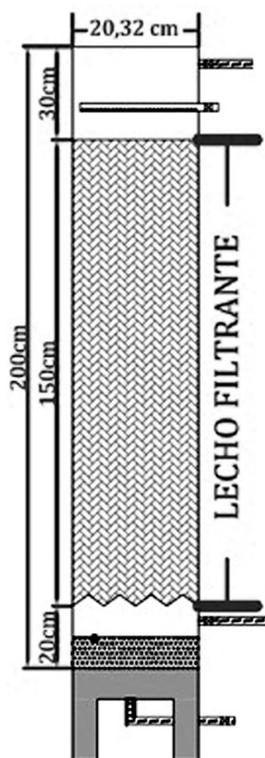


Figura 2. Diseño de biofiltros

en el sistema, representada como una media porcentual que indica el grado de conversión o remoción del compuesto de interés, utilizando la siguiente expresión:

$$ER = \left(\frac{Cg \text{ entrada} - Cg \text{ salida}}{Cg \text{ entrada}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Cg entrada = concentración del gas en la entrada del sistema

Cg salida = concentración del gas en la salida del sistema

Toma de datos

Se instalaron acoples en la parte superior e inferior de los biofiltros que facilitaron la toma de datos con el equipo analizador de gases Multi-gás Portátil Protégé TM, el cual posee un sen-

sor para sulfuro de hidrógeno con un rango de medición entre 0 – 500 ppm y una sonda de 12 pulgadas de largo.

Tabla 2. Condiciones de operación de biofiltros

Temperatura	pH	Tiempo de retención hidráulico
30 ± 4 °C	1-3	30 seg

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de determinar las horas de muestreo, se hizo necesaria la medición horaria de los datos de concentración producida de sulfuro de hidrógeno en la EBAR Norte; esta medición fue realizada durante dos (2) semanas continuas, obteniendo las concentraciones promedio por hora.

En la Figura 3 se registra el comportamiento horario de las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (ppm) producidas en la EBAR Norte.

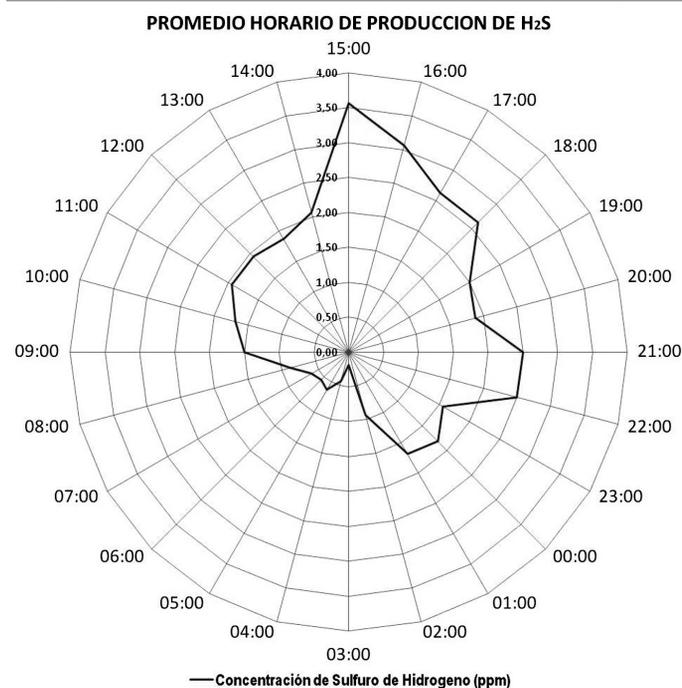


Figura 3. Concentraciones de H₂S generados en la EBAR Norte

Datos sobre concentraciones de sulfuro de hidrógeno

Durante la toma de datos sobre concentraciones de sulfuro de hidrógeno con el equipo analizador de gases Multigás Portátil Protégé TM, se reportan los valores de concentración en unidades de partes por millón (ppm), lo que implica, de acuerdo con la norma vigente de calidad del aire, emanada del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que se debe efectuar la respectiva conversión a partir de la ecuación de estado del gas ideal para registrar la concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Eficiencia de remoción del sulfuro de hidrógeno en función de la temperatura

A partir de los datos registrados durante la fase experimental se pudo determinar la eficiencia de remoción del sulfuro de hidrógeno en función de la temperatura para cada uno de los biofiltros instalados en la EBAR Norte. Fue posible identificar para los primeros quince (15) días de operación, que a temperaturas comprendidas entre 29-33°C se obtienen eficiencias desde 56% hasta 100%, como se presenta en las Figuras 4 y 5, y para temperaturas entre los 28-33°C se obtienen eficiencias de remoción entre 80 y 100% para el sulfuro de hidrógeno (Figuras 6 y 7), entre los días 16 al 39 de operación del sistema.

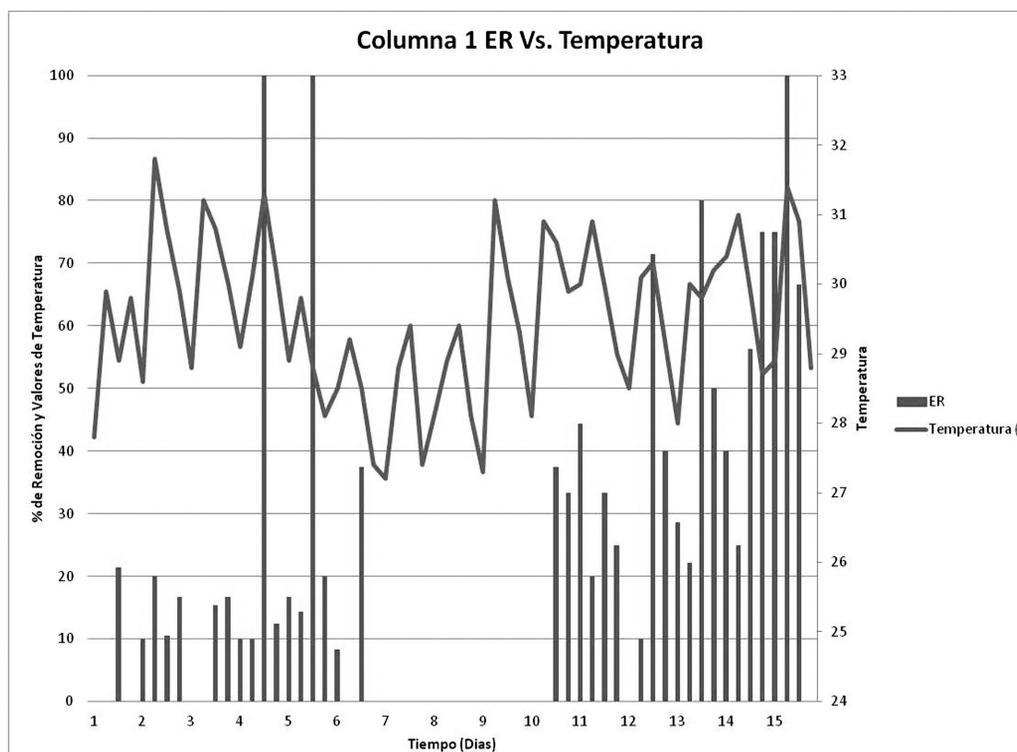


Figura 4. Eficiencia de remoción vs. temperatura en el biofiltro 1, entre los días 1 al 15 de operación

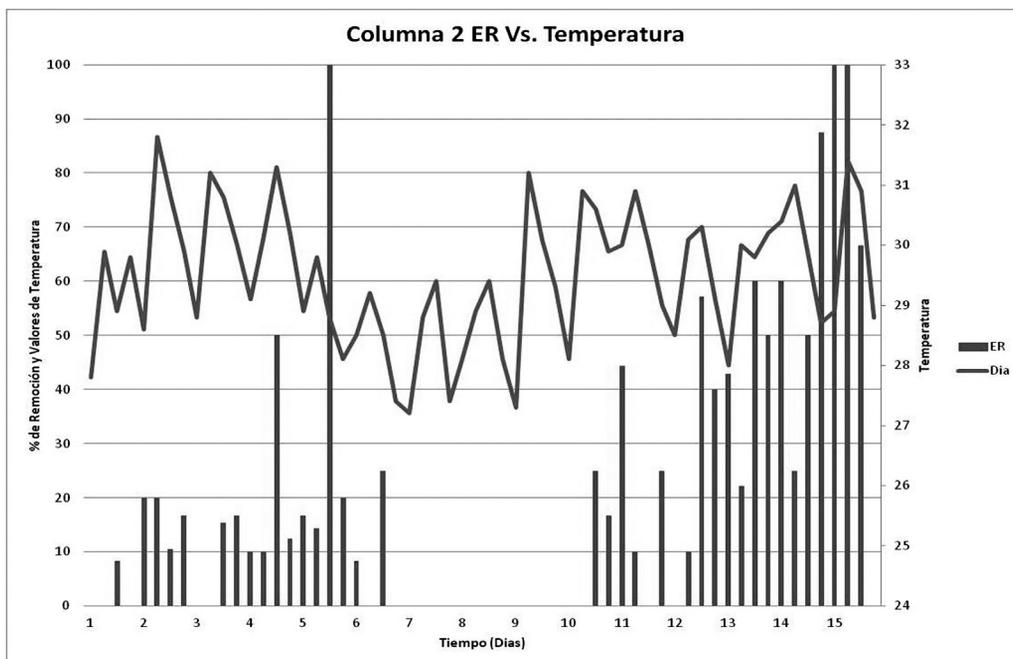


Figura 5. Eficiencia de remoción vs. temperatura en el biofiltro 2, entre los días 1 al 15 de operación

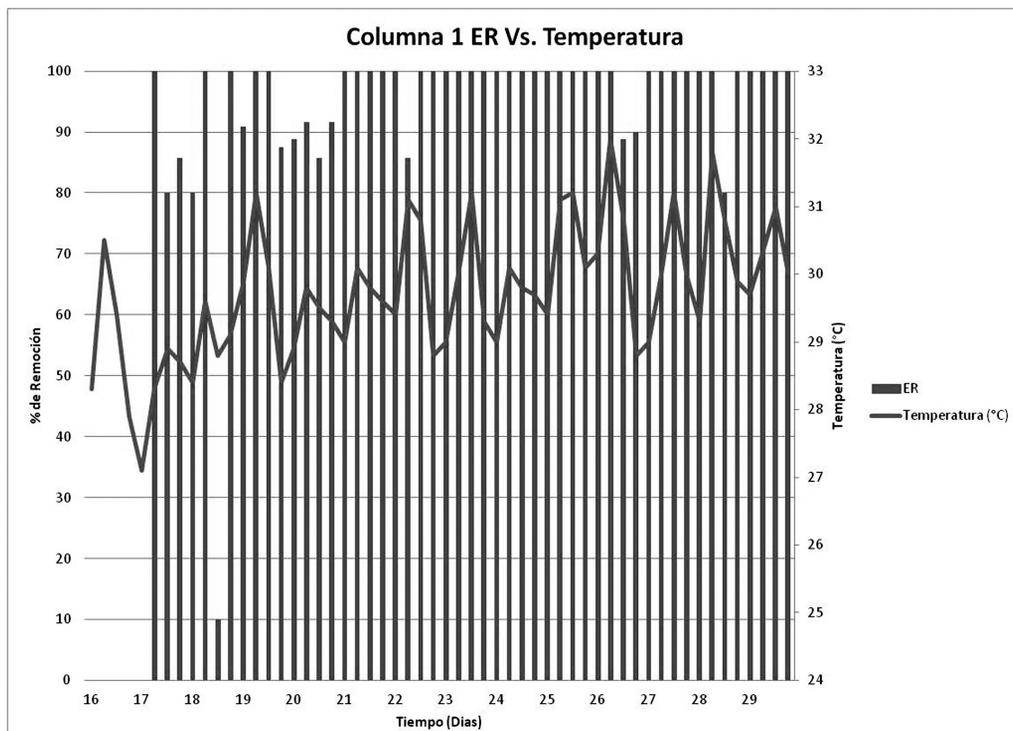


Figura 6. Eficiencia de remoción vs. temperatura en el biofiltro 1, entre los días 16 al 29 de operación

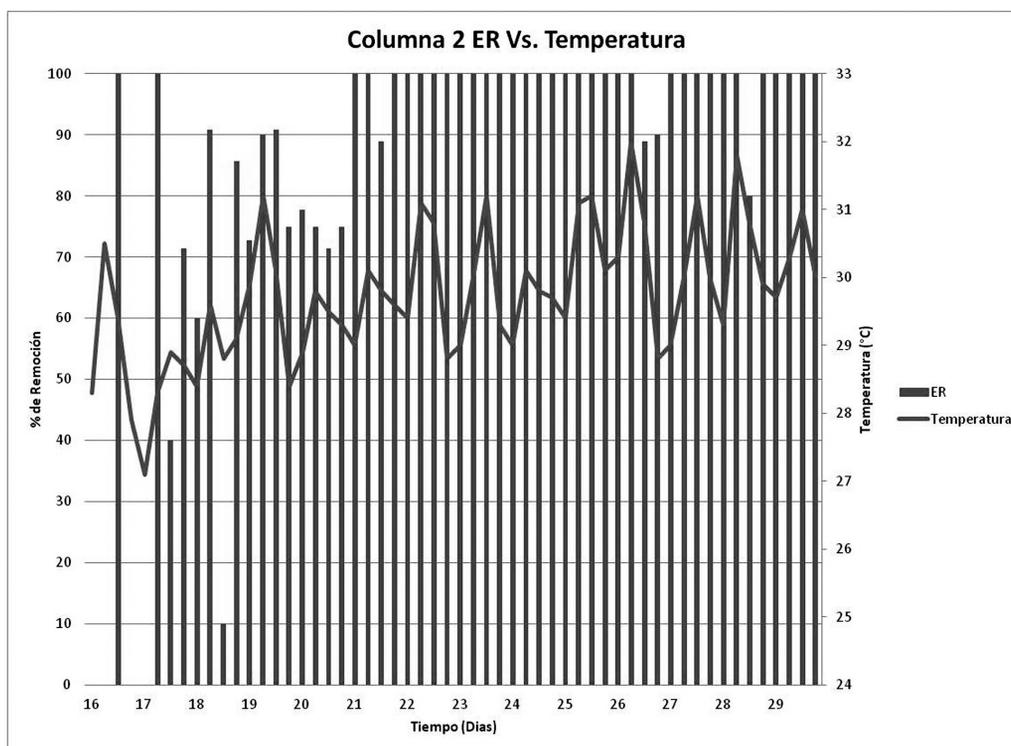


Figura 7. Eficiencia de remoción vs. temperatura en el biofiltro 2, entre los días 16 al 29 de operación

Eficiencias de remoción del sulfuro de hidrógeno en función del pH del medio de soporte

Se puede observar que el pH ácido tiene una gran influencia en el proceso de remoción del sulfuro de hidrógeno, si se tiene en cuenta que las mayores remociones se dieron en rangos de pH entre 2 y 3, alcanzando eficiencias entre 60 y 100%, mientras que para pH extremadamente ácidos, en el caso de los valores comprendidos entre 1 y 2, se presentan bajas eficiencias de remoción con valores que oscilan entre 0 y 59% de remoción del sulfuro de hidrógeno.

Es posible identificar el comportamiento de la remoción del sulfuro de hidrógeno en función del pH para cada biofiltro durante los primeros quince (15) días de operación, de acuerdo con lo presentado en las Figuras 8 y 9, mientras que

se representa en las Figuras 10 y 11 los resultados obtenidos en los siguientes quince días de operación de los biofiltros en la EBAR Norte.

Las condiciones de operación del sistema biológico de biofiltración en la EBAR Norte para la remoción de sulfuro de hidrógeno, ha permitido verificar resultados de otros estudios relacionados con las condiciones de pH del medio de soporte. Philip & Deshusses [12] establecieron que el pH debe ser superior a 3,2 para que durante la operación del sistema no se destruya la población biológica activa y, por ende, se disminuya la eficiencia de remoción. Los resultados de este estudio reflejan claramente la influencia del pH del medio de soporte en la eficiencia, dado que se observa mayor eficiencia a medida que el pH registra mayores valores.

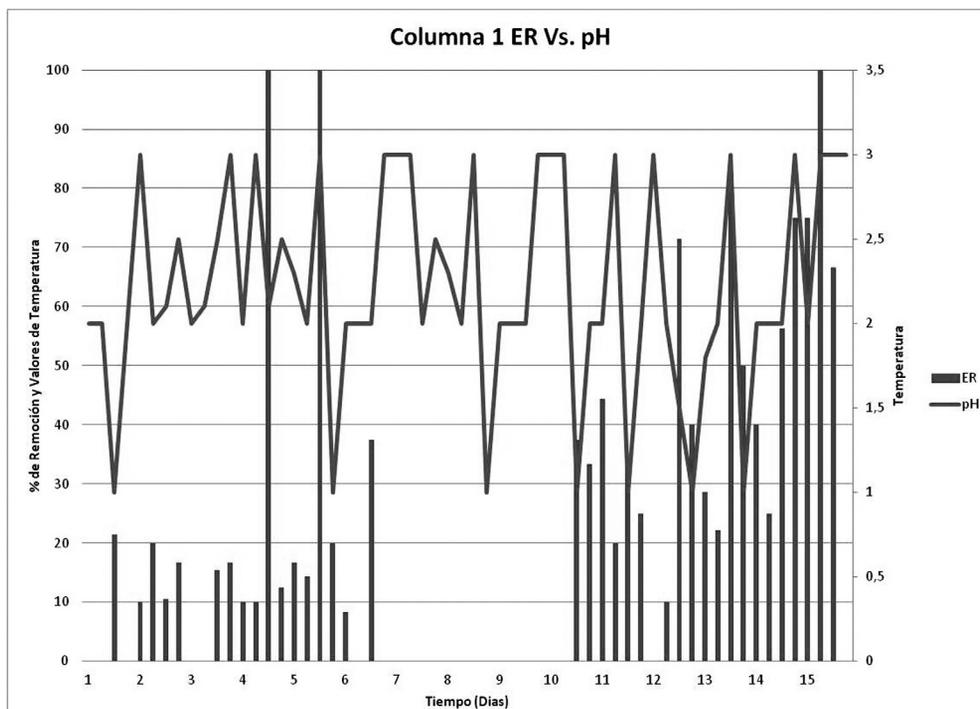


Figura 8. Eficiencia de remoción de sulfuro de hidrógeno en función del pH del medio de soporte en el biofiltro 1, entre los días 1 al 15 de operación

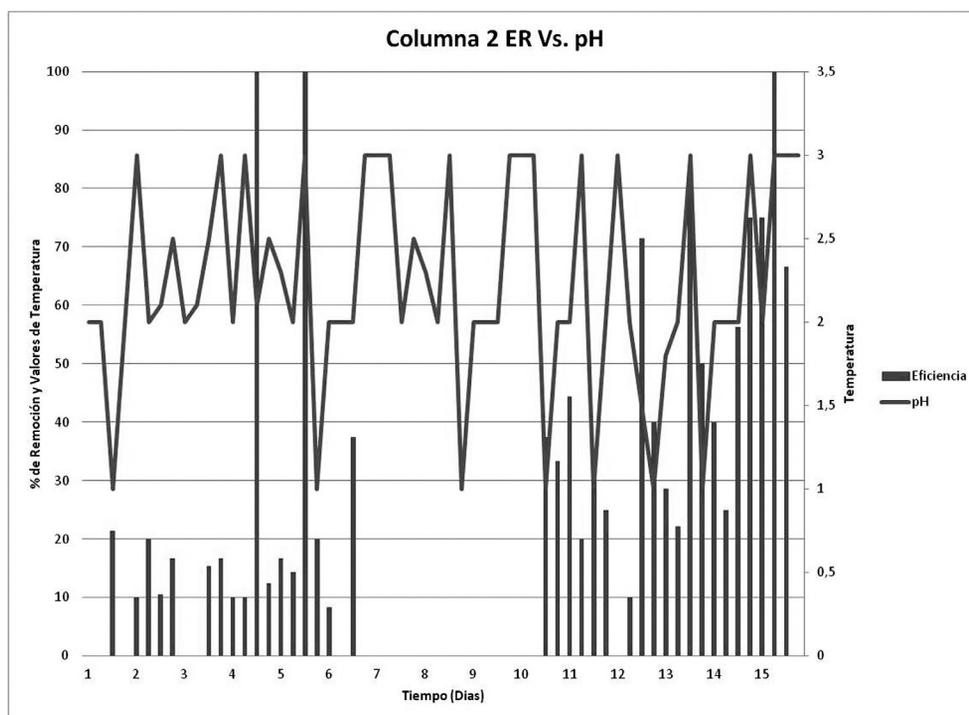


Figura 9. Eficiencia de remoción de sulfuro de hidrógeno en función del pH del medio de soporte en el biofiltro 2, entre los días 1 al 15 de operación

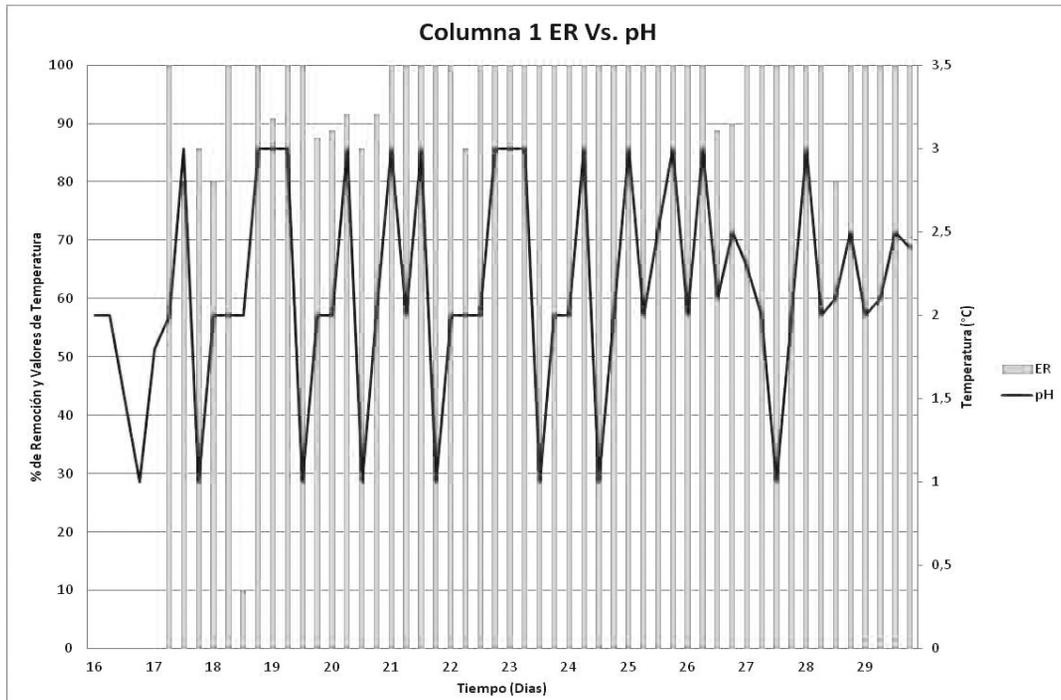


Figura 10. Eficiencia de remoción de sulfuro de hidrógeno en función del pH del medio de soporte en el Biofiltro 1, entre los días 16 al 29 de operación

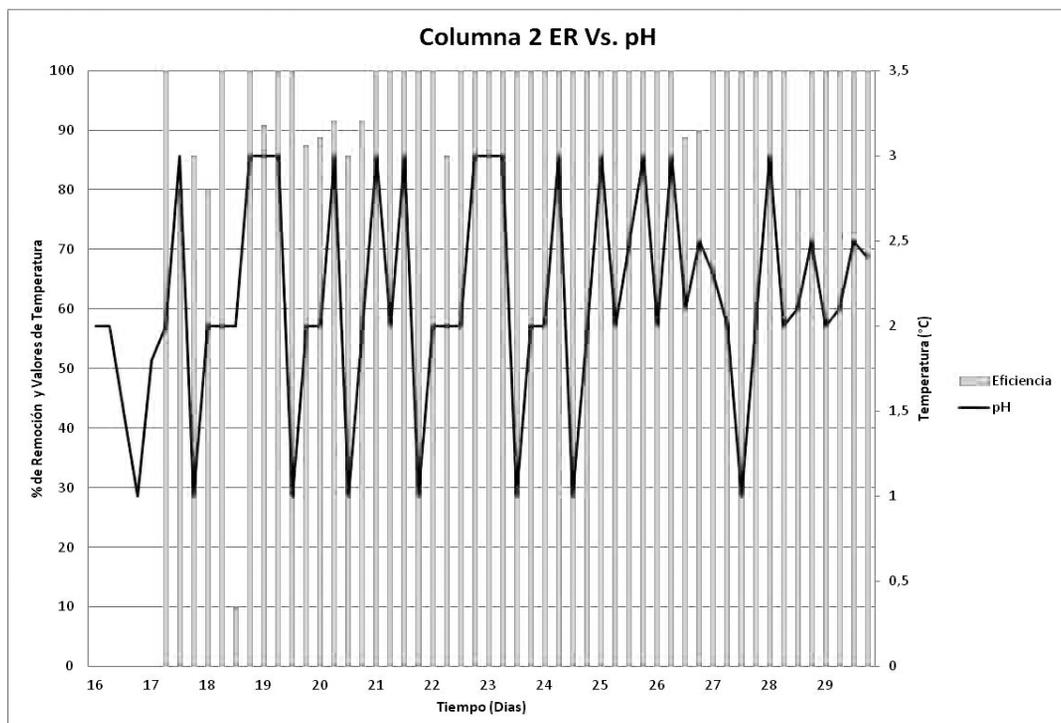


Figura 11. Eficiencia de remoción de sulfuro de hidrógeno en función del pH del medio de soporte en el Biofiltro 2, entre los días 16 al 29 de operación

CONCLUSIONES

La biofiltración para el control de olores ofensivos se constituye como una tecnología que ha demostrado ser eficiente, económica y simple, tal como reportan numerosas publicaciones internacionales. Los costos de operación y mantenimiento resultan relativamente bajos, comparados con los que presentan las otras tecnologías utilizadas para la remoción de compuestos generadores de olores ofensivos.

En el caso particular de las condiciones climáticas del Distrito de Santa Marta, en donde se encuentra ubicada la EBAR Norte, sitio en el que se colectan las aguas residuales del distrito para ser impulsadas al sitio de descarga final, la biofiltración resulta ser uno de los métodos más efectivos para la eliminación de olores ofensivos, debido a que su principal agente activo lo constituyen los microorganismos que se desarrollan en el medio de soporte.

La biofiltración demostró reducción y eliminación del sulfuro de hidrógeno. Los resultados muestran que es posible tratar cargas altas de H_2S y alcanzar eficiencias de remoción del 100%. Sin embargo, existe un período de estabilización de 14 días, para alcanzar eficiencias de remoción continuas del 100%. Se espera que este sistema funcione igual para la remoción de H_2S en efluentes gaseosos con concentraciones mayores a las encontradas, donde fueron ubicados los biofiltros.

Desde el punto de vista operacional, la puesta en marcha de los biofiltros fue rápida, observando el crecimiento de microorganismos a partir del segundo día, y alcanzando eficiencias de remoción variables entre un 20 y un 100% los primeros 6 días; a partir de ese momento el sistema registró un incremento en las eficiencias de remoción, las cuales se estabilizaron y fueron hasta de 100% a partir del día 13 de operación, manteniendo valores oscilantes entre 80 y 100% hasta el día 29.

Referido a la selección del medio de soporte de bagazo de caña de azúcar, se sugiere la experi-

mentación con este medio realizando variaciones en la altura del lecho, humedad y densidad; así como el ensayo con otros medios de soporte como el compost y otros materiales, de forma que sea posible establecer comparaciones para identificar ventajas y diferencias.

Respecto al crecimiento de microorganismos, no se pudo realizar un seguimiento de laboratorio, debido a la falta de recursos económicos implicados en la compra de medios específicos, pero se pudo observar el crecimiento de hongos sobre el bagazo de caña, el cual aumentaba con el paso de los días y de esto se puede concluir que ayudaban de alguna u otra manera en el proceso de remoción del H_2S .

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Fondo de Investigaciones de la Universidad del Magdalena - Fonciencias, por la financiación de este proyecto en la convocatoria 2010, así como a la empresa Metroagua S. A. E.S.P. por facilitar sus instalaciones para la ejecución de la fase experimental de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Barnes, W. A. Apel y K. B. Barrett. *Removal of nitrogen oxides from gas streams using biofiltration*. J Hazard Mater. Vol. 41 (1995), pp. 315-326.
- [2] J. E. Burgess, S. Parsons y R. M. Stuetz. *Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review*. Biotechnol Adv. Vol. 19 (2001), pp. 35-63.
- [3] Y. C. Chung, C. Huang, C. P. Tseng y J. R. Pan. *Bio-treatment of H_2S and NH_3 containing waste gases by co-immobilized cells biofilters*. Chemosphere. Vol. 41 (2000), pp. 329-336.
- [4] J. S. Deviny, M. A. Deshusses y T. S. Webster. *Biofiltration for air pollution control*. Lewis, New York (1999).

- [5] K. Demeestere, H. Van Langenhove y E. Smet. *Regeneration of a compost biofilter degrading high loads of ammonia by addition of gaseous methanol*. J AirWaste Manage Assoc. Vol. 52 (2002), pp. 796-804.
- [6] W. P. Flanagan, W. A. Apel, J. M. Barnes y B. D. Lee. *Development of gas phase bioreactors for the removal of nitrogen oxides from synthetic flue gas streams*. Fuel. Vol. 81 (2002), pp. 1953-1961.
- [7] A. K. Lau, M. P. Bruce y R. J. Chase. *Evaluating the performance of biofilters for composting odour control*. J. Environ. Sci. Health. Vol. A31, No. 9 (1996), pp. 2247-2273.
- [8] K. Mathur-Anil, C. B. Majumder y S. Chatterjee. *Combined removal of BTEX in air stream by using mixture of sugar cane bagasse, compost and GAC as biofilter media*. Journal of Hazardous Materials. Vol. 148 (2007), pp. 64-74.
- [9] L. Malhautier, C. Gracian, J. C. Roux, J. L. Fanlo y P. L. Cloirec. *Biological treatment process of air loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture*. Chemosphere. Vol. 50 (2003), pp. 145-153.
- [10] M. Mohseni. "Biological treatment of waste gases containing inorganic compounds". In: Z. Shareefdeen y A. Singh. *Biotechnology for odor and air pollution control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany (2005), pp. 253-279.
- [11] M. Mohseni y D. G. Allen. *Biofiltration of mixtures of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds*. Chem Eng Sci. Vol. 55 (2000), pp. 1545-1558.
- [12] L. Philip y M. A. Deshusses. *Sulfur dioxide treatment from flue gases using a biotrickling filter-bioreactor system*. Environ SciTechnol. Vol. 37, No. 9 (2003), pp. 1978-1982.
- [13] Z. Shareefdeen y B. C. Baltzis. *Biofiltration of toluene vapor under steady state and transient conditions: theory and experimental results*. Chem Eng. Vol. 49 (1994), pp. 4347-4360.
- [14] Y. Yang y E. R. Allen. *Biofiltration control of hydrogen sulfide: 1. Design and operational parameters*. J. Air Waste Manage Assoc. Vol. 44 (1994), pp. 863-868.
- [15] C. Van Lith, G. Leson y R. Michelsen. *Evaluating design options for biofilters*. J. Air Waste Manag. Assoc. Vol. 47 (1997), pp. 37-48.

