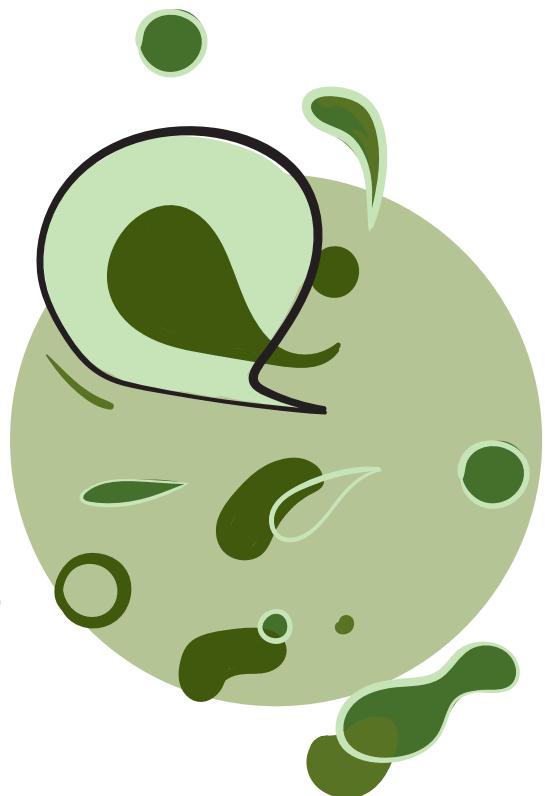


# LA BIOFILTRACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA LA ELIMINACIÓN DE OLORES OFENSIVOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES\*

Por Daniel Felipe Forero\*\*, Diana Gisset Vela\*\*\*, Pedro Filipe de Brito Brandão\*\*\*\*, Mario Andrés Hernández Pardo\*\*\*\*\*, Paola Andrea Acevedo Pabón\*\*\*\*\* e Ivan Orlando Cabeza Rojas\*\*\*\*\*



\* Este artículo recoge parte de la propuesta presentada al concurso Reconocimiento a la Excelencia Tomasina (2019) en la categoría Prácticas de excelencia para la investigación y la innovación y fue ganadora del premio San Alberto Magno.

\*\* Ingeniero ambiental por la Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: danielfelipe-9@hotmail.com.

\*\*\* Master en Microbiología Aplicada y Química y docente de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Correo electrónico: dgvelaa@unal.edu.co.

\*\*\*\* Doctor en Microbiología, microbiólogo y docente de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Correo electrónico: pfdeb@unal.edu.co.

\*\*\*\*\* Doctor en Ingeniería con énfasis en Energía y Medio Ambiente de la École des Mines de Nantes de Francia, con conocimientos en biomasa, biocombustibles, mitigación de emisiones, tratamiento de aguas, emisiones y residuos sólidos, hidrocarburos, control de contaminación, digestión anaerobia, control y simulación de procesos. Actualmente es docente en la Universidad EAN. Correo electrónico: mahernandez@universidadean.edu.co.

\*\*\*\*\* Ingeniera química con un doctorado en Ingeniería Química por la Universidad Industrial de Santander. También es docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: paolaacevedo@usantotomas.edu.co.

\*\*\*\*\* Doctor en Recursos Naturales y Medio Ambiente e ingeniero químico. También es docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: ivancabeza@usantotomas.edu.co.

# E

l país tiene la necesidad de implementar proyectos de investigación aplicada que permitan alinearse con los objetivos de desarrollo sostenible. En este sentido, es necesario establecer alternativas para la diversificación de la matriz energética nacional, la mitigación del cambio climático, la evaluación de potenciales energéticos basados en fuentes renovables, la generación de tecnologías para el control de la contaminación, etc. Los procesos basados en estas actividades hacen necesario el establecimiento de diversas etapas con el fin de realizar una transferencia tecnológica desde la academia a los sectores involucrados. Entre las etapas más importantes desarrolladas por la Universidad se tienen: la determinación del potencial y la disponibilidad de las biomasas, la caracterización fisicoquímica, los pretratamientos, la evaluación del potencial energético y los productos de valor agregado, el monitoreo ambiental *in situ*, el escalado del proceso y la determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de las tecnologías.

La Facultad de Ingeniería Ambiental y su grupo de investigación INAM-USTA han logrado consolidarse como referentes en el área de tecnologías limpias en diferentes niveles, específicamente en lo que concierne a los procesos biotecnológicos para la valorización de biomasa residual y cultivos energéticos a partir de sus actividades de investigación en redes de investigación, formación y apropiación social del conocimiento. En este orden de ideas, uno de los ejemplos más claros de los resultados obtenidos a través del trabajo colaborativo ha sido la alianza estratégica formada entre la Universidad Santo Tomás, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad EAN. Esta unión ha permitido aunar capacidades para el desarrollo de una tecnología basada en biomasa residual que pueda transferirse directamente a la industria y que impacte positivamente a la sociedad. Uno de los proyectos de esta alianza investigativa tiene como marco de estudio la contaminación por parte de los olores producidos por diferentes actividades necesarias para la sociedad, ya que estos generan un impacto negativo en los empleados de dichas actividades y en las comunidades vecinas a las explotaciones.

**La Facultad de Ingeniería Ambiental y su grupo de investigación INAM-USTA han logrado consolidarse como referentes en el área de tecnologías limpias en diferentes niveles.**

Estos olores ofensivos son generados principalmente por sustancias residuo de actividades industriales, comerciales o de servicio, las cuales producen fastidio olfativo (Decreto 948 de 1995). Estos se deben generalmente a la presencia de una mezcla de compuestos volátiles con un bajo umbral de detección, es decir, que son detectables por la nariz en bajas concentraciones en el aire. Entre ellos se destacan los compuestos inorgánicos volátiles (civ) y los compuestos orgánicos volátiles (cov), como mercaptanos, sulfuros orgánicos, aminas, ácidos orgánicos, aldehídos y cetonas. Estos compuestos son generados durante procesos industriales, como la fabricación de alimentos, pinturas, papel, industria farmacéutica, refinerías; y también de forma natural en actividades como la crianza de animales de granja, compostaje, tratamiento de aguas residuales, tratamientos de subproductos animales, entre otros (Revah y Morgan-Sagastume, 2005).

El olor se puede caracterizar analíticamente al identificar y cuantificar los compuestos relacionados con el mismo y, sensorialmente, a través de asesores humanos que evalúan la intensidad, el carácter, la aceptabilidad y el umbral de detección (Estrada *et al.*, 2011).

Los olores ofensivos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (ver **figura 1**) corresponden a una mezcla de compuestos

volátiles, asociados al manejo mismo del agua residual, a la degradación de la materia orgánica dentro de la planta de tratamiento y también con la generación y disposición final de residuos sólidos como lodos activados. Estos se deben principalmente a reacciones químicas durante el tratamiento primario y a procesos de biodegradación de materia orgánica (proteínas, grasas y vitaminas) en un ambiente de alto contenido de materia orgánica (5-20 %), bajo contenido de oxígeno y nitrato, como suelen ser las aguas residuales y los lodos provenientes del proceso de tratamiento. Adicionalmente, diversos estudios han demostrado que existe una mayor transferencia de los compuestos volátiles presentes en las aguas residuales a la fase gaseosa en zonas de alta turbulencia o área interface aire/agua, como en la zona de captación y tanques de sedimentación (Estrada *et al.*, 2011; Lewkowska *et al.*, 2016).

Los principales compuestos que contribuyen al olor son el sulfuro de hidrógeno, el sulfuro de dimetilo, el mercaptano y el amoniaco, aunque también se han detectado alcoholos, ácidos grasos volátiles, aldehídos, cetonas y aminas.

**Estos olores ofensivos son generados principalmente por sustancias residuo de actividades industriales, comerciales o de servicio, las cuales producen fastidio olfativo.**



**Figura 1.** Planta de tratamiento de agua residual.

Fuente: elaboración propia.

## Los principales compuestos que contribuyen al olor son el sulfuro de hidrógeno, el sulfuro de dimetilo, el mercaptano y el amoniaco, aunque también se han detectado alcoholes, ácidos grasos volátiles, aldehídos, cetonas y aminas.

Estos compuestos suelen estar en nivel de trazas, donde son inocuos a nivel toxicológico, pero pueden generar un riesgo ocupacional en espacios cerrados dentro de las plantas, por ejemplo en la zona de manejo de lodos, donde podrían alcanzarse concentraciones peligrosas (Iranpour *et al.*, 2005).

Las emisiones generadas en la industria y la exposición a los compuestos inorgánicos y orgánicos volátiles generan, en muchas ocasiones, riesgos a la salud de las personas y seres vivos. La población que vive en áreas cercanas a las plantas de tratamiento de aguas residuales u otras áreas industriales están expuestas a diferentes rangos de concentraciones de este tipo de compuestos, los cuales generan afecciones y enfermedades a través de la inhalación y, en muchas ocasiones, la exposición prolongada aumenta las posibilidades de sufrir cáncer. De ahí la importancia de efectuar un manejo en las empresas generadoras de los COV y CIV.

En Colombia, la gestión, el monitoreo y el tratamiento de este tipo de contaminantes ha ganado relevancia en los últimos años y esta importancia se ve reflejada en la construcción de un marco normativo asociado a esta problemática (Resolución 610 del 2010; MMADS, 2013; MMADS, 2014); por esto es necesario empezar a implementar técnicas o tecnologías para el tratamiento.

Para reducir las emisiones de olores ofensivos y cumplir con las normativas de calidad del aire se han desarrollado diversos métodos fisicoquímicos y biológicos. El uso de una u otra tecnología depende del contaminante a tratar, su concentración, su flujo y el modo de emisión de los gases. Además, es necesario tener en cuenta

la temperatura de la emisión, la concentración de oxígeno, la presencia de otros componentes, la solubilidad, el costo de inversión y el mantenimiento del sistema (Forero *et al.*, 2018).

Para tratar o mitigar estos olores, existen diferentes procesos o tecnologías, entre las que se pueden encontrar las físicas y químicas como la absorción, la adsorción, la condensación, la oxidación y la osmosis inversa (Forero *et al.*, 2018). Estas tecnologías poseen una alta eficiencia de remoción para todo tipo de contaminantes, pero generan un alto costo en cuanto a la inversión y el mantenimiento, además que pueden generar subproductos, los cuales deben tener una disposición adecuada (Altalyan *et al.*, 2016; Boussu *et al.*, 2007).

Por otro lado, encontramos los tratamientos biológicos en los cuales los gases contaminantes son transferidos por una corriente de aire a la fase acuosa donde están los microorganismos y estos los usan como fuente de energía o carbono. De esta manera los transforman en compuestos de menor toxicidad y olor, como CO<sub>2</sub>, sulfatos, nitratos y agua, además de generar biomasa. Para que se pueda usar este método, los contaminantes deben ser biodegradables y no-tóxicos para el sistema biológico.

Los tratamientos biológicos tienen la ventaja de poder ser usados a temperatura ambiente (10-40 °C) y presión atmosférica, son fáciles de manejar y tienen menores costos de operación, ya que no se necesita energía para la degradación, ecológicamente más limpios y menos susceptibles a los parámetros de diseño que los tratamientos físicos y químicos (Revah y Morgan-Sagastume, 2005).

**La biofiltración se ha usado en Europa y Estados Unidos**

**desde los años 60 para el tratamiento de olores provenientes**

**de actividades como compostaje, tratamiento de aguas**

**residuales, industria alimentaria y granjas pecuarias.**

Dentro de estos, la biofiltración se ha usado en Europa y Estados Unidos desde los años 60 para el tratamiento de olores provenientes de actividades como compostaje, tratamiento de aguas residuales, industria alimentaria y granjas pecuarias, lo que revela que esta tecnología es robusta, de fácil operación y alto desempeño (Leson y Winer, 1991). Sin embargo, es necesario evaluar diferentes tipos de lechos, ajustar los parámetros de operación a la aplicación específica y analizar la población de microorganismos que genera la degradación de los contaminantes.

En un biofiltro, los gases contaminantes pasan a través de un soporte poroso húmedo y son difundidos a la fase acuosa del biofilm que contiene los microorganismos para la degradación, los nutrientes y el oxígeno. El soporte puede ser de un material orgánico como tierra, *compost*, turba, desechos de madera o cualquier otro que pueda retener agua y aporte minerales para el crecimiento de la población microbiana (Revah y Morgan-Sagastume, 2005). Los factores que afectan el desempeño de un biofiltro son: las

características del soporte, el pH, la temperatura, la humedad, los nutrientes, la concentración de  $O_2$ , la caída de la presión, el tiempo de residencia del gas en el soporte (EBRT, del inglés *Empty Bed Residence Time*), los microorganismos presentes en él, y la concentración del (de los) contaminante(s). Estos parámetros deben optimizarse para que el desempeño del biorreactor sea el mejor posible y sea viable técnicamente la transferencia de la tecnología a condiciones locales (Singh y Ward, 2005).

La biofiltración es muy usada principalmente para la reducción de  $H_2S$  y COV en las PTAR, ya que este sistema tiene bajos costos de inversión y operación con respecto a otras tecnologías y una alta eficiencia de eliminación de contaminantes de interés, a bajas concentraciones y alto caudal (Estrada *et al.*, 2011); aunque también es deseable la remoción de los demás compuestos que contribuyen a los olores ofensivos. En los casos donde existe una mezcla de contaminantes en la corriente a tratar, la transferencia de masa al biofilm y la biodegradabilidad, en especial si hay efectos de inhibición, llevan a una competencia entre los compuestos la cual afecta la eficiencia de eliminación de algunos de ellos (Rene *et al.*, 2013). Al respecto, en las PTAR se ha reportado que la eficiencia de remoción de otros gases como  $NH_3$  y COV, es menor al 90 % (Iranpour *et al.*, 2005) y que la aclimatación de estos gases toma más tiempo que la de  $H_2S$  (Xie *et al.*, 2009).

**La biofiltración es muy usada principalmente para la reducción de  $H_2S$  y COV en las PTAR, ya que este sistema tiene bajos costos de inversión y operación con respecto a otras tecnologías.**

## Proyectos de la Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental

El grupo de investigación INAM-USTA, mediante una alianza estratégica entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad EAN, ha llevado a cabo diferentes actividades de investigación para identificar, evidenciar y optimizar los aspectos técnicos del proceso de biofiltración y así analizar las posibilidades de transferencia de la tecnología a la PTAR de El Salitre, Bogotá, para eliminar los olores ofensivos allí generados. Esto teniendo en cuenta que se encuentra cerca a zonas residenciales y que dentro de la planta hay zonas que presentan concentraciones altas de diferentes contaminantes.

Para abordar esta problemática, se diseñó un sistema de biofiltración para la eliminación de estos gases contaminantes según los parámetros operacionales. En la fase inicial del proyecto, se identificaron los principales compuestos volátiles generados en la zona de pretratamiento de la PTAR ( $H_2S$  y  $NH_3$ ) al realizar un monitoreo con la ayuda de detectores de gases portátiles (Multirae, Biogas 5000, RKI-GX 6000) en temporadas húmedas y secas (Vela-Aparicio *et al.*, 2019) (ver **figura 2**).

Una vez identificados los contaminantes, se realizaron procesos de compostaje (ver **figura 3**) de una mezcla de residuos orgánicos –bagazo



de caña-pollinaza (CB); cascarilla de arroz-pollinaza (CA); residuos de poda-pollinaza (CP) – para utilizarlos como lechos filtrantes, también se tuvieron en cuenta diferentes parámetros para garantizar que los materiales contaban con los criterios de estabilidad de este tipo de soportes.

Obtenido el lecho filtrante, se construyó un prototipo industrial en las instalaciones de la Universidad (ver **figura 4**) y se controlaron los parámetros de tiempos de retención, las cargas contaminantes y la humedad de los lechos.

En el sistema de biofiltración diseñado se alcanzaron eficiencias de remoción de  $H_2S$  y  $NH_3$  superiores al 90 % (ver **figuras 5 y 6**), y se identificó la capacidad de adaptación de los lechos a diferentes concentraciones de los contaminantes de forma simultánea.

**Figura 2.** Zona de pretratamiento y zona de medición de la planta de tratamiento de agua residual.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Compostaje madurado y lecho filtrante.

Fuente: elaboración propia.

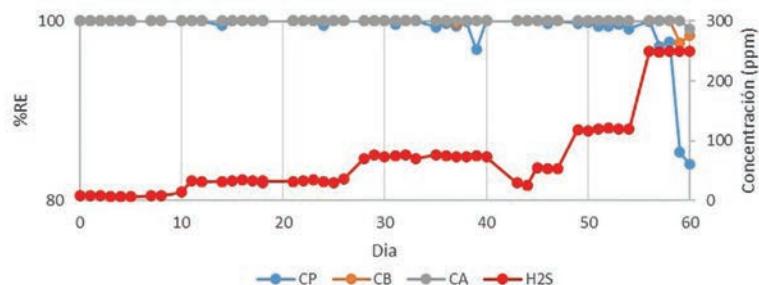
**Figura 4.** Prototipo industrial de biofiltración.

Fuente: elaboración propia.



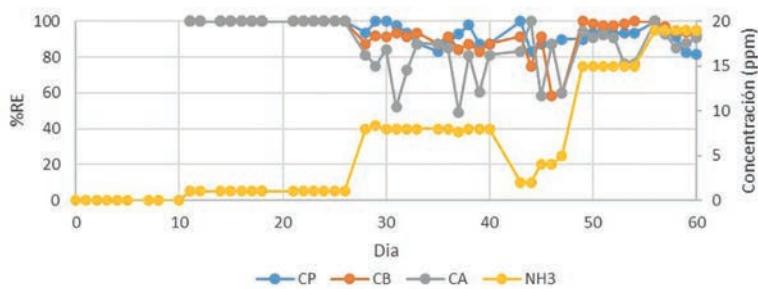
En la **figura 5**, se muestran las eficiencias de remoción en los 60 días operativos del sistema y se observan valores del 100 % en las concentraciones más bajas de H<sub>2</sub>S. El material con mejores eficiencias durante todo el proceso fue el CA, indicando que este lecho podría ser transferido a la PTAR con buenos resultados para el rango de concentraciones de trabajo. Las altas eficiencias de remoción están relacionadas con la naturaleza del contaminante (hidrófilo) y con que el material de relleno tiene una capa llamada *biofilm* o *biopelícula*, la cual es una lámina de agua sobre todo el material por la que pasa la corriente gaseosa y se da una transferencia del contaminante de la fase gaseosa a la fase líquida presente en el lecho por procesos físicos.

La **figura 6** muestra las eficiencias de remoción obtenidas para el NH<sub>3</sub> en el sistema de biofiltración. En este caso, se identificaron fluctuaciones en el rendimiento para todos los lechos durante todo el periodo de prueba del sistema y ningún lecho presentó un comportamiento estable o con eficiencia del 100 %. Los ensayos permitieron determinar que este tipo de contaminante ofrece una mayor resistencia a los procesos físicos, químicos y biológicos dentro del sistema, principalmente, debido a la presencia del otro contaminante en la corriente gaseosa analizada. Para superar estos aspectos, en próximos estudios se evaluará un consorcio microbiano generado por el equipo investigador con el objetivo de incrementar la



**Figura 5.** Eficiencia de remoción de H<sub>2</sub>S en sistema de biofiltración a escala de prototipo industrial.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 6.** Eficiencia de remoción de  $\text{NH}_3$  en sistema de biofiltración a escala de prototipo industrial.

Fuente: elaboración propia.

eficiencia de remoción y la adaptabilidad de los lechos durante la biofiltración simultánea. Adicionalmente, se realizará un monitoreo de volátiles orgánicos en la PTAR por medio de una nariz electrónica (PEN3), los cuales serán cuantificados con fines de evaluación en el prototipo industrial diseñado mediante lechos orgánicos.

**Las actividades de investigación realizadas a través de la alianza estratégica han permitido consolidar resultados que pueden ser transferidos a diferentes sectores generadores de malos olores y tener un impacto positivo en la calidad de vida de los trabajadores y residentes cercanos a las plantas industriales.**

Desde la Facultad se ha planteado una ruta con el fin de permear el programa de pregrado y el nuevo programa de posgrado en tecnologías limpias, al generar proyectos de investigación con financiación interna y externa que permitan consolidar a la Universidad como referente en el área de conocimiento. Esta consolidación se ha llevado a cabo mediante la formulación de proyectos de investigación, la consecución de recursos, la adquisición de activos, la creación de un laboratorio de investigación dotado con los mismos proyectos de investigación, la formación de un capital humano a nivel de pregrado y posgrado (codirección de tesis doctoral), la publicación de artículos indexados, la participación en eventos científicos, el apoyo de instituciones internacionales para la transferencia de conocimientos mediante alianzas estratégicas, entre otras acciones. ■

## REFERENCIAS

- ALTALYAN, H. N., JONES, B., BRADD, J., NGHIEM, L. D. Y ALYAZICHI, Y. M. (2016). Removal of Volatile Organic Compounds (voCs) from Groundwater by Reverse Osmosis and Nanofiltration. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 9–21. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2015.11.010>
- BOUSSU, K., BELPAIRE, A., VOLODIN, A., VAN HAESSENDONCK, C., VAN DER MEEREN, P., VANDECASSELE, C. Y VAN DER BRUGGEN, B. (2007). Influence of Membrane and Colloid Characteristics on Fouling of Nanofiltration Membranes. *Journal of Membrane Science*, 289(1-2), 220–230. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2006.12.001>

- DECRETO 948 DE 1995 (5 de junio), por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. *Diario oficial* 41.876. Ministerio del Medio Ambiente. [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)
- ESTRADA, J. M., KRAAKMAN, B., MUÑOZ, R. Y LEBRERO, R. (2011). A Comparative Analysis of Odour Treatment Technologies in Wastewater Treatment Plants. *Environmental Science & Technology*, 45(3), 1100–1106. <https://doi.org/10.1021/es103478j>
- FORERO, D. F., ACEVEDO, P., CABEZA, I. O., PEÑA, C. Y HERNANDEZ, M. (2018). Biofiltration of Acetic Acid Vapours Using Filtering Bed Compost from Poultry Manure - Pruning Residues - Rice Husks. *Chemical Engineering Transactions*, 64, 511–516. <https://doi.org/10.3303/CET1864086>
- IRANPOUR, R., H.J. COX, H., DESHUSSES, M., & D. SCHROEDER, E. (2005). Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal. *Environmental Progress*, 24(3), 254–267. <https://doi.org/10.1002/ep.10077>
- LESON, G. Y WINER, M. (1991). Biofiltration: an Innovative Air Pollution Control Technology for VOC Emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(8), 1045–1054. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466898>
- LEWKOWSKA, P., CIEŚLIK, B., DYMERSKI, T., KONIECZKA, P. Y NAMIEŚNIK, J. (2016). Characteristics of Odors Emitted from Municipal Wastewater Treatment Plant and Methods for Their Identification and Deodorization Techniques. *Environmental Research*, 151, 573–586. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.030>
- RENE, E. R., VEIGA, M. C. Y KENNES, C. (2013). Biofilters. En C. Kennes y M. C. Veiga (Eds.), *Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy* (1.ª ed., pp. 59–101). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118523360.ch4>
- RESOLUCIÓN 610 DEL 2010 (24 de marzo), por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%2odel%20Aire.pdf>
- RESOLUCIÓN 1541 DE 2013 (12 de noviembre), por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial* 48.975. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71917>
- RESOLUCIÓN 2087 DE 2014 (16 de diciembre), por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos. *Diario Oficial* 49.380. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_2087\\_de\\_2014\\_ministerio\\_de\\_ambiente\\_y\\_desarrollo\\_sostenible.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_2087_de_2014_ministerio_de_ambiente_y_desarrollo_sostenible.aspx#/)
- REVAH, S. Y MORGAN-SAGASTUME, J. M. (2005). Methods of Odor and VOC Control. En Z. Shareefdeen y A. Singh (eds.), *Biotechnology for Odor and Air Pollution Control* (pp. 29–63). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-27007-8\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-27007-8_3)
- SINGH, A. Y WARD, O. (2005). Microbiology of Bioreactors for Waste Gas Treatment. En Z. Shareefdeen y A. Singh (eds.), *Biotechnology for Odor and Air Pollution Control* (pp. 101–121). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-27007-8\\_5](https://doi.org/10.1007/3-540-27007-8_5)
- VELA-APARICIO, D. G., MUÑOZ LASSO, C. C., BRANDÃO, P. F., CABEZA, I. O. Y HERNANDEZ, M. A. (2019). Evaluation of H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> and Volatile Organic Compounds Emissions in a Waste-Water Treatment Plant in Bogota, Colombia [Sesión de conferencia; 24/07/19]. Air Pollution Conference Brazil | 4th CMAS South America. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.
- XIE, B., LIANG, S. B., TANG, Y., MI, W. X. Y XU, Y. (2009). Petrochemical Wastewater Odor Treatment by Biofiltration. *Bioresource Technology*, 100(7), 2204–2209. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.035>

