



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

APROVECHAMIENTO DE MICROORGANISMOS NATIVOS PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES DE TIPO FARMACÉUTICOS EN AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

Bautista Duarte Paola Andrea, Pramparo Laura

**Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia**

Resumen

En la actualidad existe preocupación a nivel mundial sobre una serie de compuestos químicos que a la fecha no se encuentran regulados por las autoridades ambientales y cuya presencia en el ambiente no se considera significativa en términos de distribución o concentración, sino por su entrada constante en los ecosistemas, al igual que por ser recalcitrantes y persistentes. En diversos lugares se han detectado concentraciones de distintos compuestos farmacéuticos como son ácido salicílico, naproxeno, ibuprofeno, acetaminofén, diclofenaco y antibióticos, entre otros, presentes en aguas superficiales, marinas y como trazas en aguas que se utilizan para la potabilización y consumo humano. Lo anterior ocurre porque los sistemas de tratamiento convencionales para aguas residuales no están diseñados para la eliminación de contaminantes emergentes, sino para la remoción de materia orgánica, nutrientes, sólidos, aceites y grasas, entre otros. En este estudio se evaluó cuatro microorganismos nativos *Pseudomonas poae* FA44 (GenBank: MT271889), *Bacillus megaterium* FA71 (GenBank: MT271894), *Ochrobactrum* sp. FA75 (GenBank: MT271895) y *Pseudomonas protegens* AB21 (GenBank: MT271896) aislados de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) de una industria farmacéutica de Analgésicos Antiinflamatorios no Esteroides (AINES) y productos de cuidado personal, para determinar su capacidad en la remoción de materia orgánica medida por la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la posibilidad que utilicen como fuente de carbono los AINES. Los resultados evidenciaron que los morfotipos tienen actividad enzimática proteolítica, realizan la remoción de DQO entre el 34 % (*Pseudomonas poae* FA44) y el 75% (*Bacillus megaterium* FA71), al evaluarse a las 48 horas. Además, los cuatro morfotipos tienen la habilidad de usar como única fuente de carbono Acetaminofén (500mg/l), Ibuprofeno

(800mg/l) o Diclofenaco (100mg/l). Los cuatro morfotipos pueden ser perfilados a futuro como una estrategia para fortalecer los sistemas de tratamiento de ARnD de industrias farmacéuticas, que permita el cumplimiento de la legislación nacional, en cuanto a los límites permisibles de DQO para vertimientos, al igual que, la posibilidad de disminuir el riesgo del ingreso de los AINES a las aguas superficiales y ecosistemas.

Palabras clave: microorganismos nativos; contaminantes emergentes; analgésicos antiinflamatorios no esteroides

Abstract

*Currently, there is worldwide concern about a series of chemical compounds that are not regulated by environmental authorities and whose presence in the environment is not considered significant in terms of distribution or concentration, but their constant entry into ecosystems, as well as being recalcitrant and persistent pollutants. The concentrations of different pharmaceutical compounds such as salicylic acid, naproxen, ibuprofen, acetaminophen, diclofenac and antibiotics, among others, have been detected in different systems, present in surface waters, marine waters and as traces in potable waters. The conventional wastewater treatment systems are not designed for removal of emerging pollutants, these are design for removal of organic matter, nutrients, solids, oils and, fats. In this study, four native microorganisms *Pesudomonas poae* FA44 (GenBank: MT271889), *Bacillus megaterium* FA71 (GenBank: MT271894), *Ochrobactrum* sp. FA75 (GenBank: MT271895) and *Pseudomonas protegens* AB21 (GenBank: MT271896) isolated from Non-Domestic Wastewater from a pharmaceutical industry of Nonsteroidal Anti-inflammatory Drugs (NSAIDs) and personal care products, to determine their ability to remove organic matter measured by the Chemical Oxygen Demand (COD) and the possibility that NSAIDs are used as a carbon source. The results evidenced, the morphotypes have proteolytic enzymatic activity, COD removal was performed between 34% (*Pesudomonas poae* FA44) and 75% (*Bacillus megaterium* FA71) when evaluated at 48 hours. Also, these morphotypes have the ability to use Acetaminophen (500mg / l), Ibuprofen (800mg / l), or Diclofenac (100mg / l) as the sole carbon source. The four morphotypes can be outlined in the future as a strategy to strengthen the ARND treatment systems of pharmaceutical industries, allowing compliance with national legislation, regarding the permissible COD limits for discharges, as well as the possibility of decrease the risk of NSAIDs entering surface waters and ecosystems*

Keywords: native microorganisms; emerging pollutants; nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs)

1. Introducción

Existe actualmente preocupación a nivel mundial sobre una serie de sustancias químicas que a la fecha no se encuentran reguladas por las autoridades ambientales y cuya presencia en el ambiente no se considera significativa en términos de distribución o concentración, sino por su entrada constante en los ecosistemas, al igual que, por ser recalcitrantes y persistentes; actualmente se

estudian sus efectos para los seres vivos, tasas de transformación, procesos de remoción, ubicuidad, entre otras características (Becerril Bravo, 2009; Júnior *et al.*, 2013; Alygizakism *et al.*, 2017). Este tipo de sustancias han sido denominadas como contaminantes emergentes (CE), no porque sean nuevos, pues existen reportes de los años 70 y 80 donde se evidencia, por ejemplo, la presencia de fármacos en Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), sino por la importancia que cobran al encontrarse en diferentes concentraciones en aguas naturales (Correira y Macano, 2015).

Dentro de los contaminantes emergentes se pueden mencionar sustancias como tensoactivos, plastificantes, aditivos, surfactantes, resinas epóxicas, productos farmacéuticos, cuidado personal y diferentes compuestos químicos. Entre los efectos que se han reportado a causa de estas sustancias se puede mencionar alteraciones al sistema endocrino de mamíferos, efectos a nivel hormonal en ratones, afectación en los procesos gestacionales, impactos negativos en branquias y riñones en peces de agua dulce, al igual que, resistencia bacteriana frente a los antibióticos (García *et al.*, 2011).

Se ha establecido que los CE ingresan en los ecosistemas a través de vertimientos puntuales y no puntuales de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y ARnD, dentro de los cuales se encuentran los efluentes de hospitales, escorrentías de la actividad agrícola y ganadera, tanques sépticos, disposición final inadecuada de productos farmacéuticos, entre diferentes opciones. Como consecuencia su presencia en aguas superficiales y subterráneas es frecuente, al igual que en sistemas de suministro de agua potable (Janet *et al.*, 2012; Verlicchi *et al.*, 2012; Tejada *et al.*, 2014).

En Colombia, diversos compuestos farmacéuticos son de venta libre en especial los Analgésicos Antiinflamatorios No Esteroides – AINES y en varios estudios han sido detectados en influentes, efluentes, y aguas superficiales de ciudades principales como Bogotá y Medellín (Hernández *et al.*, 2015), al igual que en zonas rurales de ciudades intermedias como Pereira o Tumaco, donde la eficiencia de los sistemas de tratamiento monitoreados (planta de tratamiento de aguas domésticas urbanas, tanques sépticos en zona rural, plantas de tratamientos de aguas residuales de hospitales) no superan un 40% en la remoción de compuestos farmacéuticos (Arrubla Vélez, *et al.*, 2015).

Debido a la presencia de estos contaminantes y la falta de efectividad de las plantas de tratamiento convencionales, diferentes estudios han sido adelantados en la búsqueda de alternativas viables, que contemplan procesos físicos, químicos o biológicos. Los tratamientos biológicos llaman la atención como procesos de degradación en donde se emplean microorganismos como bacterias, algas, hongos que tienen la habilidad de mineralizar moléculas de alto peso molecular y llevarlas a compuestos simples como agua o dióxido de carbono, al usar los contaminantes como fuente de carbono, induciendo la producción de enzimas para su asimilación, además de tener la capacidad de tolerar la toxicidad de distintas sustancias (Ahmed *et al.*, 2017).

Estudios recientes muestran como el aprovechamiento de microorganismos puede ser utilizado tanto para la remoción de materia orgánica, presentando una eficiencia del 95% medidos en términos de demanda química de oxígeno (DQO), y a su vez, son aprovechados para disminuir la presencia

de diclofenaco e ibuprofeno, con una eficiencia del 66% y 33% respectivamente en el sistema de tratamiento (Fatehifar *et al.*, 2018).

En el trabajo que se presenta se evaluaron cuatro microorganismos nativos *Pseudomonas poae* FA44 (GenBank: MT271889), *Bacillus megaterium* FA71 (GenBank: MT271894), *Ochrobactrum* sp. FA75 (GenBank: MT271895) y *Pseudomonas protegens* AB21 (GenBank: MT271896) aislados de ARnD de una industria farmacéutica de Analgésicos Antiinflamatorios no Esteroides (AINES) y productos de cuidado personal, para determinar su capacidad en la remoción de materia orgánica medida por la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la posibilidad que utilicen como fuente de carbono los AINES.

2. Materiales y métodos

Microorganismos: Los cuatro microorganismos que se eligieron para este trabajo corresponden a *Pseudomonas poae* FA44 (GenBank: MT271889), *Bacillus megaterium* FA71 (GenBank: MT271894), *Ochrobactrum* sp. FA75 (GenBank: MT271895) y *Pseudomonas protegens* AB21 (GenBank: MT271896). Dichos microorganismos fueron aislados de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) de una industria farmacéutica de Analgésicos Antiinflamatorios no Esteroides (AINES) y productos de cuidado personal. Las cuatro bacterias fueron seleccionadas por tener actividades enzimáticas hidrolíticas (Proteasas, Lipasas y Amilasas).

Tolerancia a compuestos farmacéuticos: Los cuatro microorganismos fueron expuestos a compuestos farmacéuticos tipo AINES, como el acetaminofén, ibuprofeno y diclofenaco. Se utilizó el método de Replica Plating realizando tres pases sucesivos (Ledeborg *et al.*, 1952) para establecer si usan el AINES como única fuente de carbono, usando el medio mínimo de sales (MMS) sólido (Bushnell *et al.*, 1941) modificado (MMS: $MgSO_4$ 0,20g/l, $CaCl_2$ 0,02g/l, K_2HPO_4 1,0g/l, KH_2PO_4 1,0g/l, NH_4Cl 1,0g/l, $FeCl_3$ 0,05g/l, Agar base 18g/l). El MMS fue suplementado con una única fuente de carbono de acetaminofén (50mg/l) marca Glaxo SmithKline, ibuprofeno (50mg/l) marca Genfar o diclofenaco (50mg/l) marca Genfar. Las cajas fueron incubadas a $35^\circ C \pm 0,5^\circ C$ por 48 horas para evidenciar su tolerancia, posteriormente se incrementó las concentraciones de los AINES hasta llegar a la concentración máxima de venta libre en farmacia para acetaminofén (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/l), ibuprofeno (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/l, 600mg/l, 700mg/l, 800mg/l), y diclofenaco (75mg/l, 100mg/l). Los morfotipos fueron incubados a $35^\circ C \pm 0,5^\circ C$ por 48 horas. Finalizado el tiempo de incubación se determinó la presencia o ausencia de crecimiento, lo anterior permitió determinar que concentración de AINES es tolerada por los cuatro microorganismos.

Caracterización de la muestra: A partir del sistema de tratamiento de aguas residuales con el cual cuenta una industria manufacturera de productos de cuidado personal y AINES, se tomó una muestra puntual en el tanque equalizador que permite controlar el caudal del influente y posteriormente es pasado a los procesos secundarios de tratamiento dispuestos en la planta. Se tomaron tres muestras en frasco ámbar, con volumen de un litro, purgados tres veces antes de tomar la muestra. La muestra fue transportada a $4^\circ C$, al laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Militar Nueva Granada sede Bogotá, y llevada al refrigerador, para ser caracterizada

en las siguientes 24 horas (IDEAM, 2007).

Dentro de los parámetros que fueron analizados para la muestra de agua se cuenta con Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) bajo las recomendaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM,2007). Para la medición de pH se utilizó un pH-metro marca Hanna modelo HI-991301 (Garay *et al.*, 2003).

Ensayos de remoción de materia orgánica: Los ensayos de remoción de materia orgánica se realizaron por triplicado para cada uno de los morfotipos. Se empleó como matriz el agua residual tomada de la industria farmacéutica, previamente caracterizada y el inóculo microbiano constituyó el 10 % del volumen efectivo de trabajo de los montajes, buscando que se encontraran en una concentración de 10⁶ UFC/ml. La remoción de materia orgánica se realizó con base al análisis de la DQO, siguiendo los protocolos de IDEAM (2007), las lecturas se realizaron en el tiempo 0, 24h y 48h. Previo a la lectura se realizó centrifugación a 5.000 r.p.m, por 15 minutos para retirar la biomasa presente en cada una de las muestras.

3. Resultados y análisis

A partir de la siembra en MMS suplementado con 50 mg/l de los tres AINES (acetaminofén, ibuprofeno y diclofenaco), los 4 microorganismos presentaron crecimiento luego de cuatro pases sucesivos; posteriormente se inició enfrentar a los microorganismos a concentraciones de los AINES superiores hasta alcanzar la dosis máxima de venta libre en farmacia (AINES: Acetaminofén a 500mg/l, Ibuprofeno a 800 mg/l y Diclofenaco a 100 mg/l).

Los microorganismos *Bacillus megaterium* FA71, *Ochrobactrum* sp. FA75 y *Pseudomonas protegens* AB21 tienen la capacidad de crecer en diferentes concentraciones de AINES, incluyendo la concentración máxima de venta libre (tabla 1); sin embargo, *Pseudomonas poae* FA44 fue el único microorganismo que no presentó crecimiento en las concentraciones máximas de venta libre para acetaminofén e ibuprofeno (puede usar hasta 400 mg/l y 500mg/l respectivamente como única fuente de carbono para estos dos analgésicos).

Tabla 1. Presencia o ausencia de crecimiento de los cuatro microorganismos en MMS + AINES

Morfortipo	Acetaminofén (mg/l)						Ibuprofeno (mg/l)									Diclofenaco (mg/l)		
	50	100	200	300	400	500	50	100	200	300	400	500	600	700	800	50	75	100
FA 44	P	P	P	P	P	A	P	P	P	P	P	P	A	A	A	P	P	P
FA 71	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
FA 75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
AB 21	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Es de gran importancia para el país identificar en microorganismos nativos de ARnD de una industria farmacéutica la capacidad de utilizar como fuente de carbono a los AINES puesto que pueden ser perfilados para la optimización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

urbanos. La afirmación anterior se basa en estudios recientes que han detectado la presencia de diferentes fármacos en aguas residuales urbanas en Colombia como por ejemplo, acetaminofén, carbamazepina, claritromicina, diclofenaco, ibuprofeno, losartán, valsartán, entre otros (Hernández, *et al.*, 2015). De la misma manera, se determinó que en zona rural de Pereira, en su planta de tratamiento de aguas residuales trazas de aspirina, naproxeno, diclofenaco, ibuprofeno y ketoprofeno, entre otros (Arrubla Vélez, *et al.*, 2016). Lo anterior demuestra que los sistemas de tratamiento que actualmente se usan en el país están enfocados en la remoción de materia orgánica, nutrientes y sólidos, puesto que, es necesaria su efectividad para cumplir con la legislación nacional y este tipo de contaminantes al no ser regulados, no se tienen en cuenta para ser removidos dentro del sistema.

En cuanto al análisis de la muestra de ARnD proveniente del ecualizador, presentó un valor de pH $7,89 \pm 0,02$ unidades que se encuentra dentro de los rangos establecidos por la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para vertimientos (Minambiente, 2015). Por otro lado, en cuanto al parámetro de DBO₅ se encontró un resultado de $648,33 \pm 2,88$ mg/l, evidenciando la presencia de materia orgánica biodegradable y para la DQO el valor fue $1522,33 \pm 2,51$ mg/l indicando que el ARnD del ecualizador contiene materia orgánica no biodegradable, atribuible a la producción de AINES, que son moléculas complejas de carbono de difícil asimilación por parte de microorganismos (Evgenidou *et al.*, 2015; Saxena *et al.*, 2017).

A cada uno de los microorganismos se les realizó ensayos de DQO para establecer la reducción de materia orgánica; las pruebas se realizaron por triplicado y se hizo la medición de DQO mg/l a las 0, 24 y 48 horas. Se evidencia que los porcentajes de remoción al término de las 48 horas para *Pseudomonas poae* FA44 fue del 34%, para *Bacillus megaterium* FA71 del 75%, *Ochrobactrum sp.*, FA75 75% y *Pseudomonas protegens* AB 21 del 55%. Los cuatro microorganismos presentan diferentes cualidades como son actividades enzimáticas para el rompimiento de grasas o proteínas, el uso de AINES como fuente de carbono y además realizar remoción de manera individual de DQO entre el 34 al 75%.

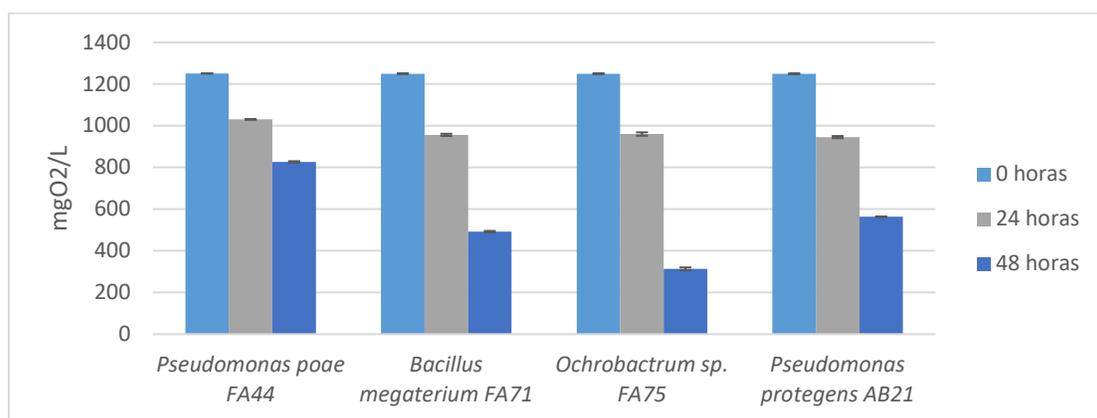


Figura 1. Ensayos de DQO para los cuatro microorganismos

Los morfotipos aquí empleados pueden ser perfilados a futuro como una estrategia para fortalecer los sistemas de tratamiento de ARnD de industrias farmacéuticas, que permita el cumplimiento de

la legislación nacional, en cuanto a los límites permisibles de DQO para vertimientos, al igual que la posibilidad de disminuir el riesgo del ingreso de los AINES a las aguas superficiales y ecosistemas.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran un futuro promisorio para la utilización de microorganismos nativos en la mejora de la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Dichos microorganismos podrían ser utilizados no solo para la remoción de materia orgánica para cumplir con la normatividad vigente, sino también para la remoción de contaminantes emergentes como lo son los compuestos farmacéuticos.

5. Agradecimientos

Producto derivado del proyecto IMP-ING-3126 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada - Vigencia 2020.

6. Referencias

- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S. and Xu, J. (2017) Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *J. Hazard. Mater.*, vol. 323, pp. 274–298.
- Alygizakis, N. A., Gago-Ferrero, P., Borova, V. L., Pavlidou, A., Hatzianestis I. and Thomaidis N. S. (2016) Occurrence and spatial distribution of 158 pharmaceuticals, drugs of abuse and related metabolites in offshore seawater, *Sci. Total Environ.*, vol. 541, pp. 1097–1105.
- Arrubla Vélez, J. P., Cubillos Vargas, J. A., Ramirez Vargas, C. A., Arredondo Gonzalez, J. A. Arias Isaza, C. A. and Paredes Cuervo, D. (2016) Pharmaceutical and personal care products in domestic wastewater and their removal in anaerobic treatment systems: Septic tank – up flow anaerobic filter. *Ing. e Investig.*, vol. 36, no. 1, pp. 70–78.
- Becerril Bravo J. E. (2009) Contaminantes emergentes en el agua *Rev. Digit. Univ.*, vol. 10, no. 8, pp. 1–7.
- Bushnell, LD., and Haas, HF. (1941).The utilization of certain hydrocarbons by microorganisms. *J. Bacteriol.* 41: 653-673.
- Correia A. and Marcano L.(2015) Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales. Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. *Bol. Malariol. y Salud Ambient.*, vol. 55, no. 1, pp. 1–18.
- Evgenidou, E. N., Konstantinou, I. K., and Lambropoulou, D. A. (2015). Ocurrance and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: A review. *Science of the total environmental* 505, 905-926.

- Fatehifar, M., Borghei, S. M. and A. Ekhlas, N. (2018) Application of moving bed biofilm reactor in the removal of pharmaceutical compounds (diclofenac and ibuprofen). *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 5530–5535.
- Garay, J., Ramirez, G., Betancourt, J. M., Marin, B., Cadavid, B., et al. (2003). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos*. INVEMAR, Santa Marta, 177p.
- García Gómez, C., Gortáres Moroyoqui P. and Drogui P. (2011) Contaminantes emergentes : efectos y tratamientos de remoción, *Rev. Química Viva*, no. 2, pp. 96–105.
- Hernández, F., Ibáñez, M., Botero-Coy, A. M., Bade, R., Bustos-López, M. C., Rincón, J., Moncayo, A. and Bijlsma L.(2015) LC-QTOF MS screening of more than 1,000 licit and illicit drugs and their metabolites in wastewater and surface waters from the area of Bogotá, Colombia. *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 407, no. 21, pp. 6405–6416.
- Júnior Olivera, H, Ferreira Sales P., Bueno de Oliveira D., Schmidt F., Fontes Santiago M. and Campos L.C (2013) Characterization and genotoxicity evaluation of effluent from a pharmacy industry. *Arq. Bras. Psicol.*, vol. 66, no. 2, pp. 17–35.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2007. Instructivo para la toma de Muestras de Agua Residuales. 17 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2007. Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 días. Incubación y electrometría. 13pp.
- Janet M., Soto, A. M., Usma J. I., Gutiérrez O. D. (2012) Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Prod. + Limpia*, vol. 7, no. 2, pp. 52–73.
- Ledeborg, J. and Ledeborg, E. (1952). Replica plating and indirect selection of bacterial mutants. *J. Bact.*, 63(3): 399-406.
- Saxena, N., and Sharma, A. (2017). Evaluation of Water Quality Index for Drinking Purpose in and Around Tekanpur Area, M.P. India. *International Journal of Applied Science*. 12(2), 359-370.
- Tejada, C., Quiñones, E. and Peña, M (2014) Contaminantes Emergentes En Aguas: Metabolitos De Fármacos. *Univ. Mil. Nueva Granada*, pp. 1–48.
- Verlicchi, P., Al Aukidy M. and Zambello, E. (2012) Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-A review. *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 123–155.

Sobre los autores

- **Paola Andrea Bautista Duarte:** Microbióloga y Magister en Ciencias Biológicas de la Universidad de los Andes, Candidata a Doctor en Ciencias Aplicadas por la Universidad Militar Nueva Granada u7700111@unimilitar.edu.co.
- **Laura Mariela Pramparo:** Ingeniera Química de la Universidad Nacional de Río Cuarto, DEA y Doctorado en Ingeniería Química y de Procesos por la Universitat Rovira i Virgili. Docente investigador de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Militar Nueva Granada laura.pramparo@unimilitar.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la
Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)