

Uso de *Pseudomonas aeruginosa* en biorremediación

Daniel Luján*

Programa de postgrado en Infectología y Medicina Tropical, Facultad de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Professor Alfredo Balena, 190 - Santa Efigênia. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. CEP 30130-100

*[*daniellujanroca@gmail.com](mailto:daniellujanroca@gmail.com)*

Resumen

Se realiza una revisión de la participación de *Pseudomonas aeruginosa* en los procesos de biorremediación de ambientes contaminados con moléculas orgánicas de difícil degradación y metales tóxicos; la importancia de esto radica en que, esta bacteria, debido a su diversidad metabólica, abundancia en comunidades microbianas y resistencia a los agentes de remediación química presentes en estos ambientes, se convierte en una de las especies más prometedoras de esta corriente biotecnológica.

Palabras clave: *Pseudomonas aeruginosa*, biorremediación, contaminación

Abstract

A review of *Pseudomonas aeruginosa* participation in bioremediation processes of polluted environments with organic molecules of difficult degradation and toxic metals is made, the importance of this lies in the fact that this bacterium due to its metabolic diversity, abundance in microbial communities and resistance to chemical remediation agents present in these environments becomes one of the most promising species of this biotechnological field.

Key words: *Pseudomonas aeruginosa*, bioremediation, pollution

Introducción

El medio ambiente presenta un progresivo deterioro, teniendo como causas principales a la explosión demográfica, industrialización, urbanización y turismo, debido a que, asociado a estos aspectos se incrementa el consumo del petróleo y sus

derivados, los cuales generan residuos que favorecen la acumulación de desechos tóxicos (Vásquez et al., 2010).

Los hidrocarburos líquidos forman una película que impide el ingreso de la luz a nivel del agua, la oxigenación y fijación de nitrógeno en los suelos, matando a gran parte

de la flora bacteriana (Vásquez et al., 2010; Fernández, 2012). Los desechos orgánicos producto de la agricultura son uno de los principales problemas en la industria debido a que son bioacumulables (Wuana, 2011). La minería, en su proceso de lixiviación, contribuye en la acumulación de metales pesados, vertidos en muchos casos en fuentes de agua o diluidos por intervención de la lluvia permitiendo la contaminación del agua y suelo (Giraldo, 2014).

Para contrarrestar este problema, algunas soluciones biotecnológicas se han presentado, entre ellas la biorremediación, la cual es fundamentalmente un proceso metabólico de transferencia de electrones, necesario para el crecimiento microbiano (Gadd, 2010), que se obtiene durante el proceso de oxidación de materiales reducidos, donde las enzimas microbianas catalizan esta transferencia (Vidali, 2001). Un buen número de bacterias pueden participar de este proceso, entre ellas se destaca *Pseudomonas aeruginosa* debido a su gran versatilidad en el uso de fuentes de carbono (Tonini et al., 2010, Oliveira & Alves, 2013).

P. aeruginosa es una bacteria Gram negativa aislada en cultivo puro de heridas cutáneas por primera vez en 1882 por Gessard (Luján, 2014), derivándose, su denominación, de la palabra aeruginoso (*aeruginous*), la cual significa “el color del cobre oxidado”, debido al característico color azul-verdoso que presentan sus colonias en cultivo (Haynes, 1951; Ruíz, 2007). Es oxidasa y catalasa positiva, degrada glucosa oxidativamente y presenta una temperatura

óptima de 30°C a 37°C. Puede vivir en numerosos ambientes, siendo muy fácil de encontrar en ambientes acuáticos y terrestres e inclusive en tejidos animales y vegetales. Es aerobia, pero algunas cepas pueden crecer anaeróticamente por desnitrificación (Özen & Ussery, 2012). Usa un amplio rango de compuestos orgánicos e inorgánicos para su metabolismo lo que le permite aprovechar muchos tipos de sustratos, varios considerados tóxicos, como hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aparte de ser resistentes a metales pesados, antimicrobianos y detergentes (Ruíz, 2007; Martínez et al., 2010).

Por lo expuesto el objetivo de este estudio fue actualizar la información referente a la participación de *P. aeruginosa* en biorremediación y ofrecer algunas perspectivas en referencia a este tema.

Biorremediación

Consiste en el uso de diferentes organismos (plantas, levaduras, hongos, bacterias, etc.) para neutralizar sustancias tóxicas, disminuyendo su toxicidad o convirtiéndolas en inocuas para el medio ambiente y la salud humana (Torres, 2003; López et al., 2006).

Existen dos tipos: *In situ* que consiste en tratar las aguas, suelos o arenas contaminadas sin sacarlas del lugar en el que se encuentran usando la biolabranza, bioaireación, bioestimulación y bioaumentación; y *Ex situ* que consiste en que los procesos de tratamiento se llevan a cabo tras la excavación del medio contaminado

usando compostaje y biorreactores (Volke, 2002; Rodríguez & Sánchez, 2003).

Participan factores fisicoquímicos y biológicos (Duque, 2015). Entre los físico-químicos la temperatura tiene un gran efecto sobre la naturaleza del petróleo y sus derivados, a bajas temperaturas la viscosidad de los hidrocarburos aumenta, la volatilización de alcanos de cadena corta se reduce y disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua (Vavasseur, 2014). El pH influye en la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos, ya que determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo (Volke & Velazco, 2002). La humedad puede tanto inhibir la actividad microbiana como entorpecer la difusión de oxígeno a los microorganismos (Bahmani et al., 2018). Los nutrientes son sustancias químicas necesarias para la actividad microbiana y metabólica de los microorganismos (Gómez et al., 2008). La transferencia de los electrones favorece el proceso de oxidación de materiales reducidos, otorgando la energía necesaria (Reginatto et al., 2011), siendo los aceptores más utilizados el oxígeno y los nitratos, cuando el primero es utilizado la respiración microbiana se produce en condiciones aerobias, convirtiéndose los contaminantes en dióxido de carbono, agua y masa celular (El Mamouni et al., 2002). Entre los biológicos los microorganismos (bacterias, hongos y algas), que son los que sobrevivieron a la primera fase de la contaminación, sufren adaptaciones para usar los compuestos xenobióticos como fuente de carbono y en el caso de la biodegradación de

hidrocarburos en diferentes ecosistemas (suelo y agua) su presencia es requerida, para que, a través de la actividad bioquímica, los oxiden (Solanas, 2009; Bahmani et al., 2018).

Contaminantes

En la actividad petrolera cuando un combustible llega al suelo, sus componentes se separan en tres fases: disuelta, líquida y gaseosa. Una pequeña fracción de los componentes de la mezcla se disuelve en el agua de la capa freática, una segunda porción es retenida en los espacios porosos del suelo en su forma líquida pura como saturación residual y otra parte de los contaminantes pasibles de evaporación da origen a la contaminación atmosférica, actuando de esta manera a tres niveles, suelo, agua subterránea y atmósfera (Reginatto et al., 2011), convirtiéndose el petróleo, incluyéndose explosiones y/o incendios, en un riesgo para la salud humana y el ecosistema (Zacharyasz et al., 2012; Mosaed et al., 2015).

Las actividades industriales generan una contaminación a gran escala con metales pesados (cobre, zinc, plomo, cadmio, cromo, níquel, mercurio, cobalto, plata y oro) (Abah et al., 2016); los cuales son elementos químicos no degradables, que una vez incorporados al medio ambiente, se distribuyen en el aire, agua y suelo, en algunos casos cambiando su estado de oxidación o en otros incorporándose a los seres vivos (Ukpong et al., 2013; Jyothi et al., 2017). Su presencia en los suelos suele afectar la fertilidad, mientras que en los acuíferos y aguas superficiales

puede comprometer su uso como fuentes de agua para el consumo humano (Vullo, 2003).

Los plaguicidas contaminan, ya que, aproximadamente el 47% del producto aplicado se deposita en suelos, aguas colindantes o se dispersa en la atmósfera, su biodisponibilidad en el organismo depende de su toxicocinética (absorción, distribución, metabolismo y eliminación), estos procesos están influenciados tanto por factores externos relacionados con los patrones de exposición, sustancias químicas, así como, por factores inherentes al individuo (edad, sexo, dotación genética, estado de salud, estado nutricional, estilos de vida, vía principal de absorción, etc.) (Ramírez & Lacasaña, 2001; Budzinski & Couderche, 2018).

Las industrias agrarias, de gran demanda actualmente (Vásquez et al., 2010), conllevan un aumento en la producción de desechos vegetales, contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas, son fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso, contribuyendo en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y del agua (FAO, 2002).

Uso de *Pseudomonas aeruginosa*

P. aeruginosa es más frecuentemente asociado como causa de infección humana; sin embargo, naturalmente existe en el medio ambiente. La bacteria se considera un patógeno oportunista, que causa principalmente infecciones nosocomiales en pacientes inmunocomprometidos (Vallés & Mariscal, 2005; Berube et al., 2016; Streeter &

Katouli, 2016). A pesar de, principalmente, ser asociada con afectaciones a la salud (Luján et al., 2008), varias de sus cepas han sido reportadas con capacidad desintoxicante de ciertos contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos (Das & Mukherjee, 2007; Mayz & Manzi, 2017) indicándosele especialmente útil para combatir la contaminación por metales pesados (Cervantes et al., 2006; Bojórquez et al., 2016).

En la limpieza del petróleo y sus derivados, *P. aeruginosa* ha demostrado ser uno de los métodos más ecológicos, debido a que es rentable y convierte a los hidrocarburos en subproductos inocuos como el dióxido de carbono y el agua (Prakash & Irfam, 2011). Utiliza y degrada *n*-alcanos entre 11 y 40 átomos de carbono llegando a un 60% de efectividad usando C₂₀ como substrato (Salgado et al., 2008). Es eficiente en la remoción de hidrocarburos del petróleo en suelo contaminado, registrándose 90% para C₁₀ y 69% para C₂₀₊ (Safdari et al., 2017). En la bioremediación de contaminantes del petróleo en zonas costeras, presenta un 100% de índice de emulsificación frente al petróleo crudo con reducción de la tensión superficial a 26,5 mN/m (Cheng et al., 2017). También, en la contaminación de suelos con petróleo crudo puro, es bastante efectiva como bioestimulante mucho mejor que con petróleo crudo tratado (Ojewumi et al., 2018). Además, en la bioremediación de suelo salino contaminado con petróleo reduce al hidrocarburo hasta un 30% comparado con el suelo no tratado (Ebadi et al., 2017).

En la contaminación por metales pesados, *P. aeruginosa* presenta una alta capacidad bioremediativa, lo que evita que estos, en cantidades superiores a ciertos límites sean extremadamente perjudiciales para el suelo y la biota que los soporta (Awasthi et al., 2015). Demuestra capacidad para remediar estanques de desechos con bajas concentraciones de Cobre (Cu), eliminando 30% de este a partir de 160 ppm del metal (Baltazar et al., 2014). Elimina Arsénico (As) de aguas subterráneas, hasta en un 60%, disminuyendo su concentración de 1,0 a 0,4 mg/L (Pellizari et al., 2015). Detecta y adsorbe iones (Hg^{2+}) hasta en un 80% y actúa también sobre Cu^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} y Cr^{3+} (Yin et al., 2016). Biorremedia varios iones metálicos, siendo los principales Zn^{2+} con 57,5% ($648,4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), Cu^{2+} con 51,3% ($518,9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y Fe^{3+} con 48,5% ($298,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (Sindu & Gautam, 2017). Muestra una eficiencia de 76,1% en la remoción de Cesio (Cs) de aguas residuales (Kang et al., 2017). También, adsorbe Cadmio (Cd) con una capacidad máxima de $131,9 \mu\text{mol/g}$ (Tang et al., 2018).

Actualmente los ramnolípidos producidos por *P. aeruginosa* con potencial de bioremediación son una interesante área de estudio (Chong & Li, 2017). Esta produce dos formas de ramnolípidos en cultivo líquido. Los que presentan una sola molécula de azúcar se definen como mono-ramnolípidos, mientras que los que tienen dos son los di-ramnolípidos (Figura 1) (Maier & Soberón-Chavez, 2000; Kaskatepe & Yildiz, 2016, Shao et al., 2017). Los factores reguladores de estos incluyen sistemas de proteínas de percepción de cuórum (*quorum sensing*) y respuesta medioambiental, así como, sistemas reguladores globales dentro de la fisiología bacteriana basal, que actúan tanto a nivel transcripcional o postranscripcional (Reis et al., 2011). Numerosos estudios han confirmado que los ramnolípidos pueden afectar la biodegradación de hidrocarburos, tanto alifáticos como aromáticos. Además, se ha demostrado que su adición a cultivos puros de *P. aeruginosa* mejora la biodegradación de hexadecano, octadecano, n-parafinas y fenantreno (Rikalović et al., 2015). Siendo que, en condiciones de laboratorio el petróleo

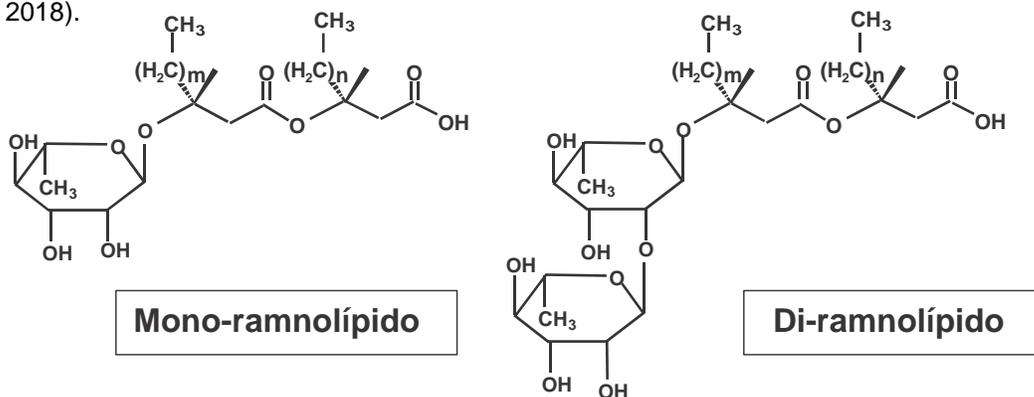


Figura 1. Estructura general de ramnolípidos típicos.

crudo ha sido removido entre un 58 a 95% (Zhang et al, 2005; Ma et al, 2016; He et al., 2017). Estos rhamnolípidos han mostrado que tienen una gran afinidad por una variedad de iones metálicos específicos, facilitando la remoción de metales pesados, tales como el plomo o el cadmio, presentes como contaminantes en suelos y aguas (Giraldo et al., 2014). Su aplicación en la remoción de estos metales pesados en suelos contaminados ha sido determinada, indicándose la remoción de cobre hasta en un 74% (Venkatesh & Vedaraman, 2012), níquel en un 56% (Elouzi et al., 2012), cromo en un 70% (Avramović et al., 2013) y hierro en un 60% (Akintunde et al., 2015).

La deliberación anterior estaría vinculada a la salud, ya que, el hecho de no remediar el medio ambiente contaminado incide en la misma; todos los contaminantes orgánicos e inorgánicos se quedarían como remanentes ambientales, acumulándose en cantidades muy superiores a los permitidos, encontrándose o pudiéndose encontrar en fuentes muy próximas a humanos y animales, afectándoles en sus potenciales fisiológicos e incluso en su desarrollo evolutivo, con la concomitante carga e incremento para los sistemas de salud pertinentes (Zheng et al., 2013; Jamieson et al., 2017; Karlsson et al., 2019).

Conclusiones

P. aeruginosa presenta un rol a destacar en la biorremediación debido a su gran capacidad catabólica, requerimientos abióticos no muy exigentes y fácil adaptación

a condiciones adversas. Lo cual le permite participar activamente en la degradación de contaminantes tales como hidrocarburos y metales pesados. La actual investigación sobre esta especie está ofreciendo nuevas evidencias en lo que respecta a su participación en esta corriente biotecnológica y a la posibilidad de ser usada en diferentes escenarios medio ambientales.

Agradecimientos

A Maria Geralda Fagundes-Penido, BA, por su asistencia administrativa.

Referencias

- Abah J, Mashebe P & Onjefu SA (2016) Preliminary assessment of some heavy metals pollution status of Lisikili river water in Zambezi region, Namibia. IJEPR. 4: 13-30.
- Akintunde TA, Abioye OP, Oyeleke SB, Boboye BE & Ijah UJJ (2015) Remediation of iron using rhamnolipid-surfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa*. Res. J. Environ. Sci. 9: 169-177.
- Avramović NS, Nikolić-Mandić SD & Karadžić IM (2013) Influence of rhamnolipids, produced by *Pseudomonas aeruginosa* NCAIM(P), B001380 on their Cr(VI) removal capacity in liquid medium. J. Serb. Chem. Soc. 78: 639–651.
- Awasthi G, Chester A, Chaturvedi R & Prakash J (2015) Study on role of *Pseudomonas aeruginosa* on heavy metal bioremediation. Int. J. Pure. App. Biosci. 3: 92-100.

- Bahmani F, Ataei SA & Mikaili MA (2018) The effect of moisture content variation on the bioremediation of hydrocarbon contaminated soils: modeling and experimental investigation. *J. Environ. An. Chem.* 5: 2.
- Baltazar M, Gracioso L, Avanzi I, Veiga M, Gimenes L, Nascimento C & Perpetuo E (2014) Bioremediation potential of *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterobacter cloacae* isolated from a copper-contaminated area. *BMC. Proceedings.* 8(Suppl 4): P188.
- Berube BJ, Rangel SM & Hauser AR (2016) *Pseudomonas aeruginosa*: breaking down barriers. *Curr. Genet.* 62: 109-113.
- Bojórquez C, Frías MG & Voltolina D (2016) Removal of cadmium and lead by adapted strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterobacter cloacae*. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 32: 407-412.
- Budzinski H & Couderche M (2018) Environmental and human health issues related to pesticides: from usage and environmental fate to impact. *Environ. Sci. Poll. Res.* 25: 14277–14279.
- Cervantes C, Espino-Saldaña AE, Acevedo-Aguilar F, León-Rodríguez IL, Rivera-Cano ME, Avila-Rodríguez M, Wróbel KK, Wróbel ZK, Gutiérrez CJF, Rodríguez ZJS & Moreno SR (2006) Interacciones microbianas con metales pesados. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 48: 203-210.
- Cheng T, Liang J, He J, Hu X, Ge Z & Liu J (2017) A novel rhamnolipid-producing *Pseudomonas aeruginosa* ZS1 isolate derived from petroleum sludge suitable for bioremediation. *AMB. Express.* 7: 120.
- Chong H & Li Q (2017) Microbial production of rhamnolipids: opportunities, challenges and strategies. *Microb. Cell. Fact.* 16: 137
- Das K & Mukherjee AK (2007) Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresour. Technol.* 98: 1339–1345.
- Duque C (2015) Revisión del potencial biológico de las bacterias sulfatoreductoras para la mitigación de metales pesados contaminantes en aguas de uso industrial. Tesis de especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. pp. 1-17.
- Ebadi A, Sima NAK, Olamaee M, Hashemi M & Nasrabadi RG (2017) Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing *Pseudomonas aeruginosa* consortium. *J. Adv. Res.* 8: 627-633.
- El Mamouni R, Jacquet R, Gerin P & Agathos SN (2002) Influence of electron donors and acceptors on the bioremediation of soil contaminated with trichloroethene and nickel: laboratory- and pilot-scale study. *Water. Sci. Technol.* 45: 49-54.
- Elouzi AA, Akasha AA, Elgerbi AM, El-Baseir M & El Gammudi BA (2012) Removal of

Artículos

- heavy metals contamination by biosurfactants (Rhamnolipids). *J. Chem. Pharm. Res.* 4: 4337-4341.
- Food and Agriculture Organization (2002) *Agricultura mundial, hacia los años 2015/2030: informe resumido*. FAO, Roma.
- Gadd GM (2010) Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology.* 156: 609–643.
- Giraldo J, Gutiérrez S & Merino F (2014) Actividad emulsificante y de remoción de metales pesados del rhamnolípido producido por *Pseudomonas aeruginosa* PB 25. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 80: 35-44.
- Gómez SE, Gutiérrez DC, Hernández AM, Hernández CZ, Casallas ML & Mantilla PC (2008) Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos. *NOVA.* 6: 76-84.
- Haynes WC (1951) *Pseudomonas aeruginosa* - its characterization and identification. *J. Gen. Microbiol.* 5: 939-950.
- He C, Dong W, Li J, Li Y, Huang C & Ma Y (2017) Characterization of rhamnolipid biosurfactants produced by recombinant *Pseudomonas aeruginosa* strain DAB with removal of crude oil. *Biotechnol. Lett.* 39: 1381–1388.
- Jamieson AJ, Malkocs T, Piernety SB, Fujii T & Zhang Z (2017) Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nat. Ecol. Evol.* 1: 0051.
- Jyothi M, Srinivasarao D, Swarnalatha G & Sudhakar G (2017) Assessment of heavy metals content in surface and sub surface soil samples in waste dumpsites of Guntur, Andhra Pradesh. *IRJET.* 4: 2420-2424.
- Kang SM, Jang SC, Heo NS, Oh SY, Cho HJ, Rethinasabapathy M, Ezhil Vilian AT, Hand YK, Roh C & Huh YS (2017) Cesium-induced inhibition of bacterial growth of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 and their possible potential applications for bioremediation of wastewater. *J. Hazar. Mater.* 338: 323–333.
- Karlsson CMG, Cerro-Gálvez E, Lundin D, Karlsson C, Vila-Costa M & Pinhassi J (2019) Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341. *Microb. Biotechnol.* 0: 1-15.
- Kaskatepe B & Yildiz S (2016) Rhamnolipid biosurfactants produced by *Pseudomonas* species. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 59: e16160786.
- Lladó S (2012) *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos pesados y caracterización de comunidades microbianas implicadas*. Tesis de Doctorado en Microbiología Ambiental y Biotecnología. Universidad de Barcelona. Barcelona. pp 1-274.
- López de Mesa JB, Quintero G, Guevara-Vizcaíno AL, DCJ Cáceres, Gutiérrez-Riaño SM & Miranda-García J (2006) *Biorremediación de suelos contaminados*

Artículos

- con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA*. 4: 82-90.
- Luján DA (2014) *Pseudomonas aeruginosa*: un adversario peligroso. *Acta. Bioquím. Clín. Latinoam.* 48: 465-474.
- Luján DA, Ibarra JO & Mamani E (2008) Resistencia a los antibióticos en aislados clínicos de *Pseudomonas aeruginosa* en un hospital universitario en Lima, Perú. *Rev. Biomed.* 19: 156-160.
- Ma KY, Sun MY, Dong W, He CQ, Chen FL & Ma YL (2016) Effects of nutrition optimization strategy on rhamnolipid production in a *Pseudomonas aeruginosa* strain DN1 for bioremediation of crude oil. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 6: 144-151.
- Maier RM & Soberón-Chávez G (2000) *Pseudomonas aeruginosa* rhamnolipids: biosynthesis and potential applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 54: 625-633.
- Martínez A, Cruz M, Veranes O, Carballo ME, Salgado I, Olivares S, Lima L & Rodríguez D (2010) Resistencia a antibióticos y a metales pesados en bacterias aisladas del río Almendares. *Rev. CENIC. Cien. Biol.* 41: 1-10.
- Mayz JC & Manzi LV (2017) Bacterias hidrocarburoclásticas del género *Pseudomonas* en la rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 19: 29-37.
- Mosaed HP, Sobhanardakani S, Merrikhpour H, Farmany A, Cheraghi M & Ashorlo S (2015) The Effect of Urban Fuel Stations on Soil Contamination with Petroleum Hydrocarbons. *Iranian. J. Toxicol.* 9: 1378-1384.
- Ojewumi ME, Anenih EV, Taiwo OS, Adekeye BT, Awolu OO & Ojewumi MO (2018) A bioremediation study of raw and treated crude petroleum oil polluted soil with *Aspergillus niger* and *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Ecol. Eng.* 19: 226–235.
- Oliveira RM & Alves F (2013) Diversidade microbiana utilizada na biorremediação de solos contaminados por petróleo e derivados. *Acervo da Iniciação Científica* 3: 1-14.
- Özen AI & Ussery DW (2012) Defining the *Pseudomonas* genus: Where do we draw the line with *Azotobacter*?. *Microb. Ecol.* 63: 239-248.
- Pellizzari EE, Marinich LG, Flores SA & Giménez CM (2015) Degradación de arsénico por *Pseudomonas aeruginosa* para biorremediación de agua. Estudio preliminar. *Av. Cienc. Ing.* 6:1-5.
- Prakash B & Irfan M (2011) *Pseudomonas aeruginosa* is present in crude oil contaminated sites of Barmer Region (India). *J. Bioremed. Biodegrad.* 2:129.
- Ramírez JA, & Lacasaña M (2001) Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch. Prev. Riesgos. Labor.* 4: 67-75.
- Reginatto C, Colla LM & Thomé A (2011) Biorremediação de resíduos oleosos em solos. *Ver. CIATEC-UPF.* 3: 19-31.
- Reis RS, Pereira AG, Neves BC & Freire DMG (2011) Gene regulation of rhamnolipid production in *Pseudomonas aeruginosa*

- A review. *Bioresour. Technol.* 102: 6377–6384.
- Rikalović MG, Vrvic MM & Karadžić IM (2015) Rhamnolipid biosurfactant from *Pseudomonas aeruginosa* – from discovery to application in contemporary technology. *J. Serb. Chem. Soc.* 80: 279–304.
- Rodríguez JL & Sánchez-Martín J (2003) Biorremediación: Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del Prestige. *Industria y Minería* 351: 17-21.
- Ruíz L (2007) *Pseudomonas aeruginosa*, aportación al conocimiento de su estructura y al de los mecanismos que contribuyen a su resistencia a los antimicrobianos. Tesis de doctorado en Microbiología Molecular. Universidad de Barcelona. Barcelona. pp. 1-180.
- Safdari MS, Kariminia HR, Nejad ZG & Fletcher TH (2017) Study potential of indigenous *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in bioremediation of diesel-contaminated. *Water. Air. Soil. Poll.* 22: 37.
- Salgado R, Pineda G, Mesta AM, Díaz F & Wang T (2008) Degradación de n-alcános por *Pseudomonas aeruginosa* MGP-1. *Cienc. Tecnol.* 7: 123-132.
- Shao B, Liu Z, Zhong H, Zeng G, Liu G, Yu M, Liu Y, Yang X, Li Z, Fang Z, Zhang J & Zhao C (2017) Effects of rhamnolipids on microorganism characteristics and applications in composting: A review. *Microbiol. Res.* 200: 33–44.
- Sindu PA & Gautam P (2017) Studies on the biofilm produced by *Pseudomonas aeruginosa* grown in different metal fatty acid salt media and its application in biodegradation of fatty acids and bioremediation of heavy metal ions. *Can. J. Microbiol.* 63: 61-73.
- Solanas AM (2009) La biodegradación de hidrocarburos y su aplicación en la biorremediación de suelos. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo* 9: 1-8.
- Streeter K & Katouli M (2016) *Pseudomonas aeruginosa*: A review of their pathogenesis and prevalence in clinical settings and the environment. *Infect. Epidemiol. Med.* 2: 25-32.
- Tang X, Zenga G, Fana C, Zhoua M, Tang L, Zhua J, Wana J, Huanga D, Chen M, Xua P, Zhanga C, Lua Y & Xiong W (2018) Chromosomal expression of CadR on *Pseudomonas aeruginosa* for the removal of Cd(II) from aqueous solutions. *Sci. Total. Environ.* 636: 1355-1361.
- Tonini RMCW, de Rezende CE & Grativol AD (2010) Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão. *Oecol. Aust.* 14: 1025-1035.
- Torres D (2003) El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas* 12: 1-5.
- Ukpong EC, Antigha RE & Moses EO (2013) Assessment of heavy metals content in soils and plants around waste dumpsites in Uyo metropolis, Akwa Ibom state. *THE. IJES.* 2: 75-86.
- Vallés J & Mariscal D (2005) Neumonía por *Pseudomonas aeruginosa*. *Enferm.*

Artículos

- Infec. Microbiol. Clin. 23(Suppl 3): 30-36.
- Vásquez MC, Guerrero-Figueroa JT & Quintero AP (2010) Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. Rev. Col. Biotecnol. 2: 141-157.
- Vásquez MC, Prada PA & Mondragon MA (2010) Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. Nova. 8: 213-219.
- Vavasseur A (2014) Bioremédiation des sols et des eaux: application aux pollutions chimique et nucléaire. Pollution Atmosphérique (Supl.): 80-86.
- Venkatesh NM & Vedaraman N (2012) Remediation of soil contaminated with copper using rhamnolipids produced from *Pseudomonas aeruginosa* MTCC 2297 using waste frying rice bran oil. Ann. Microbiol. 62: 85–91.
- Vidali M (2001) Bioremediation. An overview. Pure. Appl. Chem. 73: 1163–1172.
- Volke TL & Velasco JA (2002) Tecnologías de remediación para suelos contaminados. INE-SEMARNAT, México.
- Volke TL (2002) Biorremediación de suelos contaminados. BioTecnología 7: 24-39.
- Vullo DL (2003) Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. QViva. 2: 93-104.
- Wuana RA & Okieimen FE (2011) Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. ISRN. Ecology. Volume 2011, Article ID 402647, 20 pages.
- Yin K, Lv M, Wang Q, Wu Y, Liao C, Zhang W & Chen L (2016) Simultaneous bioremediation and biodetection of mercury ion through surface display of carboxylesterase E2 from *Pseudomonas aeruginosa* PA1. Water. Res. 103: 383-390.
- Zacharyasz P, Siepak J & Rosada J (2012) Petroleum-contaminated soil and water analysis and biodegradation. Polish. J. Environ. Stud. 21: 1467-1480.
- Zhang GL, Wu YT, Qian XP & Meng Q (2005) Biodegradation of crude oil by *Pseudomonas aeruginosa* in the presence of rhamnolipids. J. Zhejiang. Univ. SCI. B. 6: 725-730.
- Zheng W, Wang X, Tian D, Jiang S, Andersen ME, He G, Crabbe MJC, Zheng Y, Zhong Y & Qu W (2013) Water pollutant fingerprinting tracks recent industrial transfer from coastal to inland China: A case study. Sci. Rep. 3: 1031.