

Bacterias biodegradadoras de hidrocarburos

Biodegradable hydrocarbon bacteria

Darwin De La Rosa Martinez¹, Roger Alberto Rabelo Florez²

Recibido: 02 de mayo de 2020

Aceptado: 30 de mayo de 2020

Resumen

En este artículo de revisión, el objetivo principal es revisar las fuentes bibliográficas, referentes al estudio de bacterias que biodegradan hidrocarburo. La actividad, se desarrolló con la recolección bibliográfica, la búsqueda se realizó en la base de datos Redalyc, Scielo, Dialnet, Latindex, Nature Microbiology, entre otras y en el motor de búsqueda de Google Académico. En este proceso, se encontró que la bacteria más representativa en biodegradar hidrocarburo es *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomona sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis* y *Burkholderia*, además, la gran mayoría bacterias Gram negativas, muy pocas Gram positivas. Se necesita un consorcio bacteriano que logró biodegradar el 100% de los hidrocarburos. Este estudio es importante, porque brinda suficiente información referente a las bacterias que logran biodegradar el petróleo y sus derivados.

Palabras claves: Bacterias, Bacterias Gramnegativas, Petróleo.

1. Estudiante Investigador, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela Ciencias de la Salud – ECISALUD. Cartagena – Bolívar. Semillero Investigación en salud y biotecnología

2. Docente Investigador, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela Ciencias de la Salud – ECISALUD. Cartagena – Bolívar. Grupo de investigación TECNOSALUD. roger.rabelo@unad.edu.co

Abstract

In this review article, the main objective is to review the bibliographic sources, referring to the study of bacteria that biodegrade hydrocarbon. The activity was developed with the bibliographic collection, the search was carried out in the database Redalyc, Scielo, Dialnet, Latindex, Nature Microbiology, among others and in the search engine of Google Scholar. In this process, it was found that the most representative bacterium in biodegrading hydrocarbon is *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas sp* ,, *Bacillus sp* ,, *Bacillus subtilis* and *Burkholderia*, in addition, the vast majority Gram negative bacteria, very few Gram positive. A bacterial consortium is needed that managed to biodegrade 100% of the hydrocarbons. This study is important, because it provides enough information regarding the bacteria that manage to biodegrade the oil and its derivatives.

Keywords: Bacteria, Gram-Negative Bacteria, Petroleum.

Introducción

La contaminación por hidrocarburos del petróleo es una problemática de carácter mundial y amplia distribución geográfica, teniendo en cuenta que independiente de la zona afectada (lagos, suelos, zonas freáticas, ríos y playas) por procesos biológicos y físicos, los hidrocarburos tienen como destino final los mares y océanos(1). Los derrames de hidrocarburos, accidentales o provocados, afectan tanto el suelo como el agua, así como también causan una alteración a la calidad del paisaje(2).

Los derrames más reconocidos fueron el de la costa de Alaska en 1998, en el que se vio involucrado el buque tanque Exxon Valdez y el ocurrido en la costa de Galicia en 2002 por la ruptura del buque tanque Prestige. En ambas experiencias se demostró la importancia del papel de los microorganismos para biorremediar los hidrocarburos derramados, tanto en el agua de mar como en los sedimentos intermareales(3).

En la región Caribe colombiana existen problemas locales debido a derrames crónicos en los puertos, las refinerías de petróleo, terminales pe-

troleros, por los buques de cabotaje o accidentes de buques de tráfico internacional(4). Las zonas costeras más afectadas son Santa Marta, Barranquilla, Cartagena, Golfo de Morrosquillo y Golfo de Urabá(1).

En Cartagena de Indias, la calidad de las aguas costeras se ha visto alterada por los efluentes domésticos, industriales y agrícolas, como por el transporte terrestre, fluvial y marítimo y por las descargas de la industria del petróleo(5).

La Bahía de Cartagena se encuentra localizada sobre la costa del Caribe colombiano, en el departamento de Bolívar, entre los 10°16'N y 75°36'W. Es un sistema semicerrado con un espejo de agua de aproximadamente 82 km² de área (15 km de largo y 8 km de ancho) y una profundidad promedio de 22 m aproximadamente(6).

Desde el punto de vista de la salud pública, hay una afectación en el ámbito social que incluye los sistemas de producción, la salud, la economía y las formas de vida de las poblaciones, debido a los efectos de estos compuestos, los cuales son tóxicos para los humanos (mutagénicos y carcinogénicos) y para los seres vivos en sus diversas formas(7).

Los hidrocarburos policíclicos (antraceno, pireno, fenantreno, benzo-

pirenos) al entrar en contacto con la piel ocasiona irritación, enrojecimiento y lesiones, pueden producir cáncer de piel, cáncer de testículo y de pulmones, de igual forma los hidrocarburos aromáticos bencénicos (benceno, xileno, tolueno), causan cáncer y productores de malformaciones congénitas(8).

A pesar de lo anterior descrito, existen bacterias nativas capaces de utilizar petróleo para su crecimiento y mantenimiento, conocidas como bacterias degradadoras de hidrocarburos, dentro de las cuales se encuentra el género *Pseudomonas sp.*(9–13), que, por su versatilidad metabólica, son capaces de convertir sustratos habitualmente no degradables, en metabolitos fácilmente asimilables o susceptibles de ser catalizados enzimáticamente(5).

Este estudio pretende revisar en fuentes bibliográficas, las bacterias nativas que biodegradan hidrocarburo.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

Se diseñó una investigación teórica, para la recolección de información, la búsqueda se realizó en la base de

datos Redalyc, Scielo, Dialnet, Latindex, Nature Microbiology, entre otras y en el motor de búsqueda de Google Académico. Se tuvo en cuenta los artículos originales de investigación publicados entre los años 2002 y 2019. La búsqueda se realizó en el mes de octubre de 2019.

Población de Estudio

Las bacterias nativas biodegradadoras de hidrocarburos, están presentes en suelos y cuerpos de agua contaminados con petróleo y sus derivados. La búsqueda de información se centra en estudios de suelos y cuerpos de agua contaminados tanto a nivel nacional como internacional.

Selección de la Muestra

Los criterios de inclusión fueron los siguientes: estudios originales de bacterias nativas aisladas e identificadas en suelos y cuerpos de agua contaminados con hidrocarburos, estudios de bacterias con la finalidad de biorremediación de hidrocarburos. Por otro lado, se excluyeron estudios publicados antes del año 2002, no se tuvo en cuenta material periodístico o de opinión.

Resultados y Discusión

Biodegradación y Biorremediación

El petróleo está constituido por distintas fracciones de hidrocarburos. La fracción de hidrocarburos alifáticos (con 18 a 35 átomos de carbono llamados parafinas), hidrocarburos aromáticos (con uno o más anillos como benceno, naftaleno, y fenantreno), y los hidrocarburos polares, es decir asfaltenos altamente condensados y resinas. El petróleo también posee compuestos orgánicos con sulfuro, nitrógeno y oxígeno, y constituyentes metálicos en poca proporción(3).

La biorremediación es una tecnología basada en la utilización de los microorganismos y su potencial biodegradador para eliminar los contaminantes del medio, mediante su transformación en productos inocuos como el CO₂ y el H₂O y cuando hablamos de biodegradación microbiana de hidrocarburos, nos referimos al hecho de que los microorganismos pueden crecer a expensas de la utilización de compuestos químicos como el petróleo(14). Debido a la complejidad de la composición del petróleo, la biodegradación por parte de las bacterias dependerá de las proporciones que tenga de cada una de sus fracciones(3).

Bacterias biodegradadoras de hidrocarburos

Los microorganismos que habitan en diferentes ambientes acuáticos y terrestres, según el clima y región geográfica son muy diversos y capaces de utilizar cualquier sustrato orgánico que se encuentre en su medio, por consiguiente, estos microorganismos tienen la capacidad de usar hidrocarburos, como única fuente de carbono y energía(15). Estas bacterias tienen la capacidad de tolerar hidrocarburos de petróleo, como son *Klebsiella sp.*, *Chromobacterium sp.*, *Flavimonas orizihabitans*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus brevis*, *B. pumillus* y *B. cereus*. *Klebsiella sp.*(1).

El papel de las bacterias en la biodegradación y/o biorremediación de hidrocarburos, estos pueden biodegradar los hidrocarburos tanto por la vía anaeróbica como por la vía aeróbica, si utiliza la vía anóxica en los hidrocarburos alifáticos, utilizan el fumarato (intermediario del Ciclo de Krebs) como sustrato, presentando una serie de reacciones bioquímicas de tipo de oxidación, que darán como resultado electrones intermediarios, que se desplazan a través de una cadena de transporte de electrones y generan una fuerza protonmotriz. Ahora en los hidrocarburos aromáticos en esta misma vía anaeróbica, se da una reducción del anillo logrando la escisión

de este, presentando una serie de reacciones bioquímicas, dando como resultado un ácido graso de cadena lineal o un ácido dicarboxílico que se puede catabolizar posteriormente en intermediarios del ciclo del ácido cítrico. En cuanto a la vía aeróbica, tanto los hidrocarburos alifáticos como los aromáticos, utilizan unas enzimas llamadas oxigenasas, que pueden ser monooxigenas (que ingresan un solo oxígeno) y dioxigenasas (que ingresan dos oxígeno), dando como resultado unas reacciones de tipo oxidativas, produciendo en los hidrocarburos alifáticos acetil-CoA, el cual se va a integrar en el ciclo de Krebs, en los aromáticos de igual manera produce además de acetil-CoA, succinato y piruvato los cuales entran en el ciclo del ácido cítrico(16).

Estudios anteriores lo demuestran.

Estudios previos, identificaron bacterias del género *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Flavobacterium Alcanivorax*, *Cycloclasticus*, *Oleiphilus*, *Oleispira*, *Marinobacter*, *Neptunomonas*, *Vibrio*, *Pseudoalteromonas*, *Aeromonas Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Sphingomonas* y *Geobacillus*(5,9–13,17).

Posteriormente, a partir de suelos contaminados con petróleo, aisló e identifico la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*(10,18).

Después, aislaron e identificaron bacterias y levaduras del género *Bacillus sp*, *Rhodococcus*, *Mycobacterias*, levaduras, Micromycetes, *Pseudomonas sp*, *Pseudomonas aeruginosa*(5,9–13,19).

Luego en otra investigación aislaron e identificaron bacterias del género *Pseudomonas sp.*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus sp.*(9–13,20).

En otro estudio similar, utilizaron comunidades bacterianas para la biodegradación del petróleo crudo(21).

De igual forma, otros investigadores, utilizaron bacterias para biodegradar hidrocarburos, en el que se investigó la respuesta de las comunidades microbianas indígenas al petróleo crudo en la columna de agua profunda del Mar Mediterráneo Oriental(22). En ese mismo año, utilizaron *Pseudomonas aeruginosa*, para biodegradar petróleo crudo en agua de mar(23).

Seguidamente, en otra investigación se demostró la presencia de los géneros bacterianos *Colwelliaceae*, *Alteromonadaceae*, *Methylococales*, *Alcanivorax*, *Bacteriovorax* y *Phaeobacter*, en la biodegradación de hidrocarburos(24).

En ese mismo año, en otro estudio aislaron e identificaron, en zonas del pozo petrolero, bacterias de los géneros *Pseudomona*, *Burkholderia*, *Kleb-*

siella, *Acinetobacter*, *Enterobacter* y *Citrobacter*(9,11–13,25,26).

Luego, en un estudio más reciente lograron aislar e identificar la bacteria *Paraburkholderia aromaticivorans* BN5 aislado del suelo contaminado con petróleo(27).

Luego, infirieron la presencia de un grupo bacterias perteneciente al filo Atribacteria, el cual presenta genes que biodegradan hidrocarburos en ambientes subterráneos de yacimientos de petróleo(28). Finalmente, demostraron que *Acinetobacter* (47.1%) y *Pseudomonas* (19.8%) fueron los géneros funcionales principal de degradación del petróleo crudo(9–13,29).

Gram positivas o Gram negativas

En este estudio la tinción de Gram, las bacterias aisladas se encontraron que, de las cinco bacterias seleccionadas, una fue identificada como Gram positiva de tipo bacilo y cuatro como Gram negativas: tres bacilos y un cocabacilo(30). Estudios recientes basados en bacterias cultivables sugiere que en suelos afectados con hidrocarburos predominan bacterias Gram-negativas(31). En cambio, en este estudio emplearon un consorcio bacteriano integrado por cuatro cepas Gram negativas (*Xanthomonas sp.*, *Acinetobacter bouvetii*; *Shewanella sp.*; *Defluviobac-*

ter lusatiensis), para la biodegradación de diesel en agua de mar(23,32,33). En otra investigación, se identificaron dos géneros de bacilos Gram-positivos (*Bacillus sp.* y *Kurthia sp.*), así como cinco géneros de bacilos Gram-negativos (*Alcaligenes sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Marinomonas sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Azotobacter sp.*)(10)(34)(35). Por otro lado, para la biorremediación de hidrocarburos en aguas residuales se aplicó un tratamiento consistente en una mezcla de bacterias: *Acinetobacter sp.*, (Gram negativas) *Pseudomonas sp.* (Gram negativas) y *Mycobacterium sp.* (Gram positiva)(9–13,19). De manera similar, para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil se utilizó el consorcio microbiano autóctono, estuvo conformado por un cultivo mixto de tres cepas bacterianas Gram negativas (*Pseudomonas pertucinogena*, *Pseudomonas syringae* y *Sphingomonas paucimobilis*)(36).

Además, en otra investigación se aislaron 3 colonias bacterianas (Gram negativas) de suelo contaminado con derivados del petróleo, solo se logró identificar una colonia como *Burkholderia cepacia*(37).

De igual manera, en otra investigación se aisló bacterias de manglares, que biodegradan petróleo, se aisló 10 colonias capaces de metabolizar hidrocarburos, el análisis microscópico identificó los aislamientos como bac-

terias gramnegativas, relacionadas morfológicamente con coccus, bacilos y cocobacilos(38).

En otra investigación, se aisló bacterias de muestras de agua de mar superficial y sedimentos marinos, se obtuvo como resultado 3 géneros de bacterias como potenciales para la biodegradación, *Acinetobacter sp.* (Gram negativa), *Kocuria sp.*(Gram positiva) y *Pseudomonas sp.* (Gram negativa)(9–13,39).

Las investigaciones demuestran la presencia de bacterias conocidas que biodegradan hidrocarburo, las más representativas son las *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Bacillus subtilis* y *Burkholderia* estos resultados concuerdan (5, 10, 18, 20, 23, 25, 26, 34, 40). En contraste, existen bacterias todavía no identificadas que logran biorremediar suelos o cuerpos de agua contaminados con hidrocarburo, pero estas se han aislado por metagenómica y además tienen presencia en lechos marinos. Sin embargo, no han aislado una especie bacteriana que logró biodegradar en 100% el petróleo crudo, por lo tanto, se necesita un consorcio bacteriano logró aumentar el porcentaje de biorremediación.

Referencias

1. Narváez-Flórez Silvia, L. Gómez Martha MMM. Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del caribe colombiano. *Investig Mar* [Internet]. 2008;37(1006):63–77. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612008000100004&lng=en.
2. Serrano Guzmán MF, Torrado Gómez LM, Pérez Ruiz DD. Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Rev Científica Gen José María Córdova*. 2013;11(12):233.
3. Acuña, Adrián; Pucci, Graciela; Morales, María José; Pucci O. Biodegradación de petróleo y sus derivados por la comunidad bacteriana en un suelo de la Patagonia Argentina. *Rev la Soc Venez Microbiol*. 2010;30(1):29–36.
4. GOMEZ TR. ANÁLISIS DE LOS RIESGOS LABORALES Y AMBIENTALES DEL TRANSPORTE MARITIMO DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA. 2014;1–25. Disponible en: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4378/1/Análisis de los riesgos laborales_Tania Rocha G_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4378/1/Análisis%20de%20los%20riesgos%20laborales_Tania%20Rocha%20G_2014.pdf)
5. Echeverri G, Manjarrez G, Cabrera M. Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en h1. Echeverri G, Manjarrez G, Cabrera M. Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros en la Bahía de Cartagena, Colombia. *Ciencias . Ciencias Biomédicas* [Internet]. 2010;8(13):76–86. Disponible en: http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA13_ARTORIG7.pdf
6. Cogua P, Campos-Campos NH, Duque G. Concentración de mercurio total y metilmercurio en sedimento y seston de la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. *Bol Investig Mar y Costeras* [Internet]. 2012;41(2):267–85. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612012000200002&lng=en
7. Cavazos-Arroyo J, Pérez-Armendáriz B, Mauricio-Gutiérrez A. Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agric Soc y Desarro*. 2014;11(4):539.
8. Moriño N, Galdos A. Exposición a La Contaminación Por Actividad Petrolera Y Estado De Salud De La Comuna Yamanunka [Internet]. Memoria del Proyecto Final de Carrera Ciencias Ambientales. Universidad Autonoma de Barcelona; 2012. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tre-recpro/2008/hdl_2072_5273/PFCMonino.pdf
9. Gallegos Rangel ME, Madera-Sandoval RL, Castro-Escarpulli G, Nájera-Martínez M, Domínguez-López ML, García-Latorre

- EA, et al. Toxicokinetic and toxicodynamic symbiotic interactions among intestinal *Pseudomonas* degrading of hydrocarbons with its wild host fish *Chirostoma jordani*. *Rev Int Contam Ambient*. 2018;34(4):751–65.
10. Pucci G, Acuña A, Pucci O. Biodegradación de hidrocarburos en fondos de tanques de la industria petrolera. *Rev Peru Biol*. 2015;22(1):97–101.
 11. Jiménez Hernández V, Guerra Sánchez R. Obtención de un medio enriquecido para hacer más eficiente la biodisponibilidad de los hidrocarburos intemperizados en un suelo costero. *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2016;32(4):413–24. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000400413&lng=es
 12. Becerra L, Horna M. Isolation of biosurfactant producing microorganisms and lipases from wastewaters from slaughterhouses and soils contaminated with hydrocarbons. *Sci Agropecu*. 2016;7(1):23–31.
 13. Mayz JC, Manzi LV. Bacterias hidrocarburoclásticas del género *Pseudomonas* en la rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Rev Colomb Biotecnol* [Internet]. 2017;19(1):29–37. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752017000100029&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 14. Torres Rodríguez D. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas* [Internet]. 2003;XII(2):1–5. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54012219>
 15. Gibaja ES. Biodegradación bacteriana por bioestimulación en suelos contaminados con petróleo crudo [Internet]. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS; 2008. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/245>
 16. Madigan MT, Martinko JM, Bender KS, Buckley DH S DA. Brock. *Biología de los Microorganismos*. 14a ed. PEARSON EDUCACIÓN S. A., editor. Madrid; 2015. 1099 p.
 17. Viva Q. Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Química Viva* [Internet]. 2010;9(3):120–45. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86315692003>
 18. Pérez R, Camacho M, Gomez J, Cantero D. Aislamiento Y Selección De Una Cepa Bacteriana. *Rev CENIC Ciencias Biológicas* [Internet]. 2008;39(1):9. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/1812/181214889004/>
 19. Judit García González, Daniel Peñafiel Heredia RR. Bioremediación de hidro-

- carburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: caso Lubricadora Puyango. Enfoque UTE [Internet]. 2019;10(1):185–96. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000100185&lng=es&nrm=iso
20. Quintana Saavedra DM, Cabrera M, Tous Herazo G, Echeverry G. Aislamiento de microorganismos oligotróficos degradadores de hidrocarburos en la Bahía de Cartagena, Colombia. Boletín Científico CIOH. 2012;45(30):3–12.
 21. Wang H, Wang B, Dong W, Hu X. Co-acclimation of bacterial communities under stresses of hydrocarbons with different structures. *Sci Rep*. 2016;6(June):1–12.
 22. Liu J, Techtmann SM, Woo HL, Ning D, Fortney JL, Hazen TC. Rapid Response of Eastern Mediterranean Deep Sea Microbial Communities to Oil. *Sci Rep* [Internet]. 2017;7(1):1–11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-05958-x>
 23. Nápoles J, Bahín L, Gutiérrez M, Del Toro D, Abalos A. Degradación de diesel en agua de mar utilizando un consorcio bacteriano. *Tecnol Química* [Internet]. 2019;39(2):403–20. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852019000200403&script=sci_arttext&lng=en
 24. Bacosa HP, Erdner DL, Rosenheim BE, Shetty P, Seitz KW, Baker BJ, et al. Hydrocarbon degradation and response of seafloor sediment bacterial community in the northern Gulf of Mexico to light Louisiana sweet crude oil. *ISME J* [Internet]. 2018;12(10):2532–43. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41396-018-0190-1>
 25. Nisperuza AK, Montiel M. Caracterización y Evaluación de Cepas Bacterianas Nativas con Capacidad Hidrocarburofítica del Pozo de Petróleo de San Sebastián, Loricá, Departamento de Córdoba [Internet]. Universidad de Córdoba; 2010. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/969>
 26. Ortiz-Maya J, Escalante-Espinosa E, Fócil-Monterrubio RL, Ramírez-Saad HC, Díaz Ramírez IJ. Dinámica de poblaciones bacterianas y actividad deshidrogenasa durante la biorremediación de suelo recién contaminado e intemperizado con hidrocarburos. *Rev Int Contam Ambient*. 2017;33(2):237–46.
 27. Lee Y, Lee Y, Jeon CO. Biodegradation of naphthalene, BTEX, and aliphatic hydrocarbons by *Paraburkholderia* aromaticivorans BN5 isolated from petroleum-contaminated soil. *Sci Rep* [Internet]. 2019;9(1):24–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-36165-x>
 28. Liu YF, Qi ZZ, Shou L Bin, Liu JF, Yang SZ, Gu JD, et al. Anaerobic hydrocarbon degradation in candidate phylum 'Atribac-

- teria' (JS1) inferred from genomics. *ISME J* [Internet]. 2019;13(9):2377–90. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41396-019-0448-2>
29. Cui K, Zhang Z, Zhang Z, Sun S, Li H, Fu P. Stimulation of indigenous microbes by optimizing the water cut in low permeability reservoirs for green and enhanced oil recovery. *Sci Rep* [Internet]. 2019;9(1):1–12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-52330-2>
30. Reyes-Reyes MA, Puentes-Cala EA, Casanova-Montes EL, López-Deluche F, Panqueva-álvarez JH, Castillo-Villamizar GA. INMOVILIZACIÓN DE BACTERIAS POTENCIALMENTE DEGRADADORAS DE PETRÓLEO CRUDO EN MATRICES ORGÁNICAS NATURALES Y SINTÉTICAS. *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2018;34(4):597–609. Disponible en: <https://www.revistasc-ca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.04.04/46794>
31. Pardo-Díaz S, Rojas-Tapias D, Roldan F, Brandão P, Almansa-Manrique E. Biodegradación de fenol en aguas tratadas de la industria petrolera para re-uso en cultivos agrícolas. *Rev Biol Trop*. 2017;65(2):685–700.
32. Morlett Chavez JA. Analisis Microbiologico Y Molecular De Un Consorcio Y Una Cepa Bacteriana Presente En La Biodegradación De Los Btex [Internet]. Universidad Autonoma de Nuevo Leon; 2009. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/1994/>
33. Silla MMV. Estudio del consumo de hexadecano por un consorcio bacteriano en un biorreactor airlift [Internet]. Universidad Autónoma Metropolitana; 2012. Disponible en: <http://148.206.53.233/tesisuami/209381243.pdf>
34. Baztan MS, Pucci OH, Pucci GN. Electrobiorremediación de un suelo con una contaminación antigua de hidrocarburo. *Acta Biol Colomb*. 2015;20(2):145–52.
35. Yaima Barrios-San Martín, Silvia Acosta, Ayixon Sánchez, Antonio Toledo, Francisca González RMG. Study and isolation of aerobic hydrocarbon-degrading bacteria from Cuban shorelines. *Biotechnol Apl* [Internet]. 2012;29(2):80–6. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/c3fc/01a7d1ccd969e4450017040242b70c6db086.pdf>
36. Díaz Borrego, L. C., Leal, J. C. M., Díaz, D. A. A., Ferrer, S. J. C., Avendaño EDM. CONSORCIO MICROBIANO AUTÓCTONO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON GASOIL DEL PUERTO DE ISLA DE TOAS (VENEZUELA). *Cienc e Ing Neogranadina* [Internet]. 2017;28(2):0–2. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702018000200005&lng=en&nrm=iso
37. Ordoñez Burbano DE, Abella Medina CA, Echeverry Tamayo A, Paz Lasprilla LM,

- Benítez-Campo N. Biodegradación de hidrocarburos alifáticos saturados por microorganismos aislados de suelo contaminado con derivados del petróleo. *Rev Ciencias* [Internet]. 2019;22(2):33–44. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352018000200033&lng=en.
38. Lustosa MA, Freire KCS, Padilha FF, Cabrera-padilla RY. Petroleum hydrocarbon degradation by isolated mangrove bacteria Degradación de hidrocarburos de petróleo por bacterias aisladas de manglares. *Rev Peru* [Internet]. 2018;25(December):453–6. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352018000200033&lng=en.
39. Silva-Jiménez H, Araujo-Palomares CL, Macías-Zamora JV, Ramírez-álvarez N, García-Lara B, Corrales-Escobosa AR. Identification by MALDI-TOF MS of environmental bacteria with high potential to degrade pyrene. *J Mex Chem Soc* [Internet]. 2018;62(2 Special Issue). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2018000200214&lng=es.
40. He S, Ni Y, Lu L, Chai Q, Liu H, Yang C. Enhanced biodegradation of n-hexane by *Pseudomonas* sp. strain NEE2. *Sci Rep*. 2019;9(1):1–9.