



# Estudios sobre la biorremediación en Colombia

Studies on bioremediation in Colombia

María Alejandra Rentería-Arango\*, Doris Rosero-García\*\*

## RESUMEN

**INTRODUCCIÓN:** la biodiversidad en Colombia se está viendo afectada por la contaminación del suelo, el aire y el agua; con el fin de buscar una solución a estos desastres existen técnicas de biorremediación que se pueden aplicar en diferentes procesos en Colombia.

**OBJETIVO:** el objetivo de esta revisión bibliográfica es recopilar todos los estudios de biorremediación en Colombia y analizar que técnicas o aplicaciones son comunes para llevar a cabo este proceso.

**MÉTODOS:** se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva en diferentes bases de datos: ScienceDirect, Scielo, Redalyc, PubMed, EBESCO y Scopus. Para la selección de las publicaciones a analizar se aplicaron criterios de inclusión como: palabras clave, tipo de estudio, población, aplicaciones, fecha de publicación e idiomas.

**RESULTADOS Y CONCLUSIÓN:** La búsqueda bibliográfica arrojó un total de 1.758 resultados y para el análisis de la literatura se seleccionaron 59 artículos. Como conclusión principal se logró observar que en Colombia se comenzaron a publicar estudios relacionados con la biorremediación desde el año 2002 y el interés por el tema incrementa cada año.

**PALABRAS CLAVE:** biorremediación, Colombia, contaminación.

\* Grupo de Investigación en Microbiología, Industria y Medio Ambiente (GIMIA), Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Santiago de Cali

† Pasantía postdoctoral COLCIENCIAS-USC.

‡ Contacto: Universidad Santiago de Cali, Calle 5 # 62-00 Barrio Pampalinda, Santiago de Cali, Valle del Cauca. Correo electrónico: [doris.rosero00@usc.edu.co](mailto:doris.rosero00@usc.edu.co)

Recepción: 29/09/2019 Aceptación: 13/12/2019

Cómo citar este artículo: Rentería-Arango MA, Rosero-García D. Estudios sobre la biorremediación en Colombia. Hechos Microbiol. 2019;10(1-2):39-48. DOI: 10.17533/udea.hm.v10n1a05

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** In Colombia, biodiversity is being affected by soil, air and water contamination. To find a solution to these disasters, there are bioremediation techniques that can be applied in different processes in Colombia.

**OBJECTIVE:** To compile all bioremediation studies in Colombia and to analyze what techniques or applications are commonly used to carry out this process.

**METHODS:** An exhaustive bibliographic search was carried out using different databases: ScienceDirect, Scielo, Redalyc, PubMed, EBESCO and Scopus. For the selection of the publications to be analyzed, inclusion criteria such as keywords, type of study, population, applications, publication date, and languages were applied.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The literature search yielded a total of 1,758 results, and 59 articles were selected for analysis. The main conclusion drawn was that in Colombia, studies related to bioremediation began to be published in 2002, and interest in the subject is increasing every year.

**KEY WORDS:** bioremediation, Colombia, contamination.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es considerado como un país megadiverso debido a que existe una enorme diversidad de fauna y flora.<sup>1,2</sup> Sin embargo, la biodiversidad se ha visto afectada por actividades causadas por el hombre, las cuales han provocado una transformación de los ecosistemas.<sup>2,3</sup> El crecimiento demográfico que se comenzó a observar en la época de 1960 a 1970 afectó grandes hectáreas de ecosistemas debido a que se convirtieron en zonas urbanas, se cree entonces que esto puede ser el origen de diferentes problemas; generando la contaminación de matrices ambientales debido a la acumulación y el manejo inadecuado de los desechos industriales y domiciliarios.<sup>4,5</sup> Los problemas de contaminación ambiental que han surgido en Colombia, a través del tiempo, han llevado a la búsqueda de nuevas formas de recuperar zonas que han quedado devastadas.<sup>6</sup> Para el caso particular del Valle del Cauca, se menciona que existe una pérdida de la biodiversidad

desde el año 1998.<sup>4</sup> Frente a estas situaciones, algunos autores han propuesto que la biorremediación podría ser una alternativa amigable y económica para la recuperación de las zonas afectadas.<sup>7-10</sup>

La biorremediación se define como un proceso que involucra el uso de microorganismos (bacterias y hongos), enzimas o plantas para mitigar el daño causado por la contaminación.<sup>11</sup> Cuando se utilizan microorganismos se conoce como biorremediación microbiana; mientras que la degradación enzimática, se basa en el uso de enzimas con características para degradar sustancias; y la fitorremediación, utiliza plantas para mitigar el daño causado por los contaminantes.<sup>6,12,13</sup>

Existen datos en Colombia con reportes de aislamientos de microorganismos a partir de ambientes contaminados aproximadamente desde el año 1995,<sup>14</sup> pero solo hasta el año 2002 se empezaron a publicar artículos que aplican el uso de estrategias de biorremediación.<sup>15</sup> En general, para el país la institución que cuenta con la mayor experiencia en el tema es el Centro de Investigaciones Microbiológicas (CIMIC) que hace parte de la Universidad de los Andes.<sup>14</sup> También existen trabajos de revisión que muestran cuál es la contribución de los estudios de biorremediación en Colombia;<sup>7,13</sup> sin embargo, no se conoce un estudio donde se consoliden todas las investigaciones realizadas sobre el tema y un análisis de cuáles son las aplicaciones más frecuentes en el país. Considerando que en la Universidad Santiago de Cali existe el programa de Microbiología con énfasis en Industria y Ambiente, el objetivo de esta revisión bibliográfica es recopilar todos los estudios de biorremediación realizados en Colombia y analizar que técnicas son las más comunes para llevar a cabo este proceso. Esto permitirá que en un futuro, los estudiantes y docentes del programa puedan contar con información consolidada como punto de partida para el planteamiento y desarrollo de estudios relacionados con la biorremediación en el suroccidente del país.

## MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva de los estudios realizados en Colombia donde involucraron estrategias de biorremediación publicados desde

el año 2002 hasta septiembre de 2019. Se utilizaron diferentes bases de bases de datos electrónicas como: ScienceDirect, Scielo, Redalyc, PubMed, EBESCO y Scopus. Se definieron varias palabras claves y combinaciones de ellas para obtener el mayor número de publicaciones relacionadas con el tema. Para la selección de la literatura se elaboraron unos criterios de inclusión que permitieron seleccionar y analizar los estudios de biorremediación en Colombia. Los criterios de inclusión fueron: palabras clave (biorremediación, Colombia, biodegradación), tipo de estudio (artículos originales, resúmenes que suministren datos propios y tesis), población (Colombia), aplicaciones (degradación microbiana, fitorremediación, degradación enzimática, biorremediación in situ, biorremediación ex situ), fecha de publicación (entre los años 2002 y 2019), idiomas (español e inglés). Como criterios de exclusión se consideraron aquellos que no cumplieron para que un artículo sea incluido en el análisis, por ejemplo, revisiones de tema, artículos de estudios no realizados en Colombia y aquellos que no mostraron aplicaciones de biorremediación.

Todo el material encontrado en las búsquedas bibliográficas se recopiló en un archivo en Excel, registrando: apellidos y nombres de los autores, año de la publicación, grupo de investigación, ciudad y departamento, técnica o proceso de biorremediación, microorganismo o planta utilizada. Además, se realizó un análisis sobre cómo ha sido la frecuencia de las publicaciones entre los años 2002 y 2019 y que grupos de investigación han trabajado en el tema de interés.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda bibliográfica arrojó un total de 1.758 publicaciones (Tabla 1). Luego de remover los artículos duplicados y, posterior a la aplicación de los criterios de inclusión se seleccionaron 59 publicaciones (Tabla 2). Con base en el análisis realizado se encontró que en Colombia se han publicado diferentes estudios de biorremediación en diferentes campos, y que en los últimos años se han incrementado las investigaciones debido al interés por contribuir en la recuperación de ambientes contaminados (Fig. 1). Para la región de la Amazonía no se encontraron publicaciones relacionadas con el tema (Tabla 2).

Para los estudios de biorremediación en Colombia, las bacterias fueron los microorganismos más utilizados, por lo que se constituyen en un excelente modelo para este tipo de investigaciones (Tabla 3). Las principales técnicas empleadas son la fitorremediación, la bioestimulación y la bioaumentación (Tabla 2). En general se encontró que la utilidad de la biorremediación se enfoca en la recuperación de suelos que han sido contaminados con hidrocarburos;<sup>15-18</sup> se encontraron 40 publicaciones que corresponden al 68 % (40/59) y fueron realizadas principalmente en Medellín (Antioquia) y sus alrededores (Tabla 2). En uno de estos estudios se aisló y caracterizó un consorcio bacteriano con capacidad de degradar hidrocarburos a partir de un suelo contaminado.<sup>17</sup> También se han realizado estudios para la biorremediación de aguas contaminadas 20 % (12/59), de aguas residuales 6,8 % (4/59), y biorremediación en lixiviados 3,4 % (2/59). Con respecto a los lixiviados, en un estudio realizado en un barrio de Medellín, se tomaron muestras de suelo donde por mucho tiempo se depositaron diferentes desechos, y se evaluó la capacidad que presentaban los microorganismos para degradar el malatión y diferentes pesticidas clorpirifos.<sup>18</sup> En otro estudio se determinó la capacidad que presentaban los grupos funcionales fitoplanctónicos para degradar contaminantes en una laguna de lixiviados.<sup>19</sup> Otro ejemplo representativo, es un estudio donde se utilizaron diferentes plantas para la remoción de la materia orgánica en humedales con el fin de implementar nuevas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales.<sup>20</sup>

**Tabla 1.** Número de publicaciones encontradas en la búsqueda bibliográfica

Biorremediación en Colombia		
Idioma	Español	Inglés
Bases de datos	Resultado	Resultado
Scielo	488	745
Scopus	0	54
EBESCO	0	89
PubMed	0	93
Redalyc	4	0
ScienceDirect	7	278
<b>Total</b>	<b>499</b>	<b>1259</b>

**Tabla 2.** Estudios publicados sobre biorremediación en Colombia

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Tipos de biorremediación</b>	<b>Organismo</b>
Valderrama y cols. <sup>15</sup>	2002	Cali	Valle del cauca	Fitorremediación	Microalgas
Mikán y Castellanos <sup>21</sup>	2004	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación	Bacterias y hongos
Gómez y cols. <sup>22</sup>	2006	Santa Marta	Magdalena	Bioestimulación	Bacterias
Castillo y cols. <sup>23</sup>	2007	Bucaramanga	Santander	Biolixiviación	Bacterias
Narváez-Flórez y cols. <sup>24</sup>	2008	Cartagena	Bolívar	Bioestimulación	Bacterias
Del Rio y Uribe <sup>25</sup>	2009	Sabanagrande	Atlántico	Landfarming	Bacterias
Torres y Zuluaga <sup>26</sup>	2009	Medellín	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Gómez y cols. <sup>27</sup>	2009	Medellín	Antioquia	Bioaumentación	Bacterias
Velásquez y Dussan <sup>28</sup>	2009	Bogotá	Cundinamarca	Bioacumulación y Biosorción	Bacterias
Torres y cols. <sup>29</sup>	2009	Cali	Valle del cauca	Bioestimulación	Bacterias
Agudelo y cols. <sup>30</sup>	2010	Medellín	Antioquia	Bioestimulación	Bacterias
Montoya y cols. <sup>31</sup>	2010	Medellín	Antioquia	Fitorremediación	Plantas
Vidal y cols. <sup>32</sup>	2010	Sincedejo	Sucre	Fitorremediación	Plantas
Vásquez y cols. <sup>33</sup>	2010	Ginebra	Santander	Bioaumentación	Bacterias y Hongos
Rozo y Dussan <sup>34</sup>	2010	Cerrejón	La Guajira	Bioestimulación	Bacterias
Dussan y Manchola <sup>35</sup>	2014	Bogotá	Cundinamarca	Biosorción	Bacterias
Vasco y cols. <sup>36</sup>	2011	Rio Cravo Sur	Casanare	Bioaumentación	Hongos
Pino y Peñuela <sup>37</sup>	2011	Medellín	Antioquia	Bioestimulación	Bacterias
Pino y cols. <sup>38</sup>	2011	Medellín	Antioquia	Bioestimulación	Bacterias
Agudelo y cols. <sup>39</sup>	2012	Medellín	Antioquia	Bioestimulación	Bacterias
Arrieta y cols. <sup>17</sup>	2012	Medellín	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Chanagá y cols. <sup>40</sup>	2012	Valle de Aburrá	Antioquia	Degradación microbiana	Hongos
Pino y cols. <sup>16</sup>	2012	Apartadó	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Ramírez y cols. <sup>8</sup>	2012	Medellín	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Rengifo-Gallego y cols. <sup>41</sup>	2012	Dagua	Valle del cauca	Bioacumulación	Bacterias, algas
Aponte-Reyes <sup>42</sup>	2013	Ginebra	Valle del cauca	Fitorremediación	Bacterias y microalgas
Venail y Vives. <sup>43</sup>	2013	Río Cravo Sur	Casanare	Bioaumentación	Bacterias
Betancur-Corredor y cols. <sup>44</sup>	2015	Honda	Tolima	Bioestimulación	Bacterias
Vásquez y cols. <sup>45</sup>	2014	Girón	Santander	Bioestimulación	Bacterias
Pino y cols. <sup>46</sup>	2015	Medellín	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Palta-Prado y Morales-Velasco <sup>47</sup>	2014	Brisas de San Isidro	Cauca	Rizorremediación	Bacterias y plantas
Ñúñez y cols. <sup>48</sup>	2014	Dosquebradas	Risaralda	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Aceves-Diez y cols. <sup>49</sup>	2015	Medellín	Antioquia	Bioestimulación	Bacterias
Barrios y cols. <sup>50</sup>	2015	Medellín	Antioquia	Bioestimulación y Bioaumentación	Bacterias
Jaramillo y cols. <sup>51</sup>	2015	Medellín	Antioquia	Fitorremediación	Plantas
Cordero <sup>52</sup>	2015	Utica	Cundinamarca	Fitorremediación	Plantas
Forero y cols. <sup>53</sup>	2015	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación y Bioaumentación	Microalgas
Vallejo y cols. <sup>54</sup>	2015	Soacha	Cundinamarca	Atenuación natural	Bacterias y Hongos
Rojas y Hormaza <sup>18</sup>	2015	Medellín	Antioquia	Degradación microbiana	Hongos

Autores	Año	Ciudad	Departamento	Tipos de biorremediación	Organismo
Arcila <sup>55</sup>	2016	Fómeque	Cundinamarca	Bioestimulación, Bioaumentación, Atenuación natural	Bacterias
Botero y cols. <sup>19</sup>	2016	Medellín	Antioquia	Bioremediación; compostaje	Bacterias
Gómez y Dussán <sup>56</sup>	2016	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación	Bacterias
Vera <sup>57</sup>	2016	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación	Hongos
Vargas y Dussán <sup>58</sup>	2016	Zipaquirá	Cundinamarca	Biosorción	Bacterias
Silva-Bedoya y cols. <sup>59</sup>	2016	Rionegro	Antioquia	Bioestimulación y atenuación natural	Bacterias
Alvares y cols. <sup>60</sup>	2017	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación	Bacterias
Delgado <sup>61</sup>	2017	Medellín, Vereda Silvania	Antioquia - Putumayo	Bioestimulación, Bioaumentación, Atenuación natural	Bacterias
Deldadillo y cols. <sup>62</sup>	2017	Bogotá	Cundinamarca	Bioestimulación	Hongos
Guerrero y cols. <sup>63</sup>	2017	San Juan de Pasto	Nariño	Bioestimulación	Bacterias
Vásquez cols. <sup>64</sup>	2017	Bogotá	Cundinamarca	Degradación microbiana	Bacterias
Angulo y cols. <sup>65</sup>	2018	Puerto Colombia	Atlántico	Biosorción	Microalgas
Baldiris y cols. <sup>66</sup>	2018	Cartagena	Bolívar	Bioestimulación	Bacterias
Bertel y cols. <sup>67</sup>	2018	Turbaco	Bolívar	Bioestimulación	Bacterias
Copete y cols. <sup>68</sup>	2019	Medellín	Antioquia	Bioaumentación	Hongos
González-Valenzuela y Dussán <sup>69</sup>	2018	Bogotá	Cundinamarca	Degradación microbiana	Bacterias
Silva <sup>70</sup>	2018	Fontibón	Cundinamarca	Bioaumentación	Bacterias
Sardi y cols. <sup>20</sup>	2018	San Pedro	Valle del cauca	Fitorremediación	Microalgas
Rangel <sup>71</sup>	2018	Bogotá	Cundinamarca	Bioaumentación	Bacterias
Ortiz-Villota y cols. <sup>72</sup>	2018	Bogotá	Cundinamarca	Fitorremediación	Microalgas

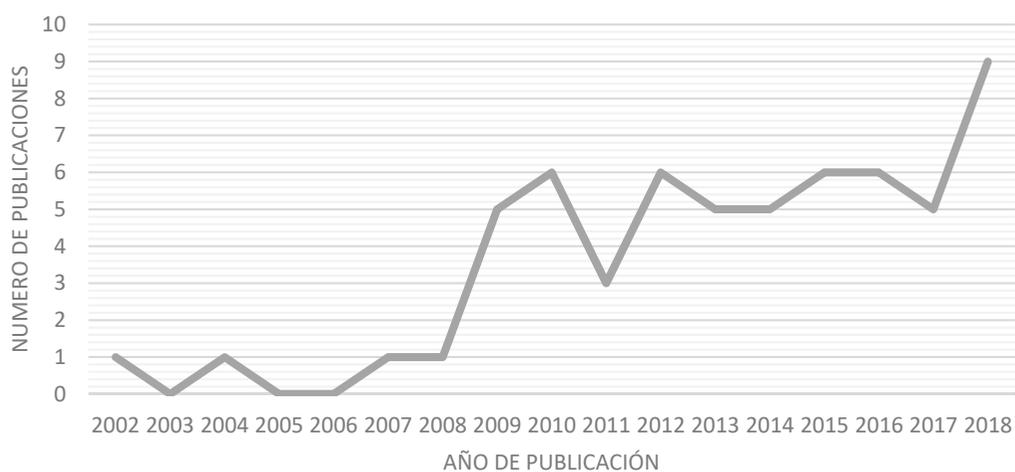


Figura 1. Proceso de publicaciones relacionadas con la biorremediación en Colombia entre los años 2002 y 2019

**Tabla 3.** Universidades, empresas y grupos de investigación con publicaciones sobre biorremediación en Colombia

Universidades y empresas	Grupos de investigación	#*
Universidad Nacional de Colombia	-Biorremediación y Desarrollo Tecnológico -Biodiversidad, biotecnología y conservación de ecosistemas -Diversidad Microbiana y Bioprospección	14
Universidad de los Andes	-Diseño de Productos y Procesos -Centro de Investigaciones Microbiológicas -Instituto de Genética	14
Universidad de Antioquia	-Investigación Diagnóstico y Control de la Contaminación -Investigación Salud y Sostenibilidad	14
Universidad del Valle	Investigación Saneamiento Ambiental	4
Universidad de Cartagena	-Química Ambiental y Computacional -Centro Nacional de Secuenciación Genómica	3
Pontificia Universidad Javeriana	-Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental	3
Corporación Corpogen	No aplica	2
Universidad Antonio Nariño	No se encontró información	2
Universidad El Bosque	No se encontró información	2
Universidad Distrital Francisco José de Caldas	No se encontró información	2
Universidad Tecnológica de Pereira	No se encontró información	2
Universidad Central	No se encontró información	2
Universidad de Santander	No se encontró información	2
Universidad de Sucre	No se encontró información	2
Universidad Libre	No se encontró información	2
Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales	No aplica	1
Compañía Nacional de Chocolates S.A.S	No aplica	1
Constructora Divecon S.A.	No aplica	1
Escuela de Ingeniería de Antioquia	No se encontró información	1
Universidad del Atlántico	No se encontró información	1
Universidad de La Sabana	No se encontró información	1
Universidad de Boyacá	No se encontró información	1
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras	No aplica	1
Universidad de Caldas	No se encontró información	1
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca	No se encontró información	1
Universidad de Pamplona	No se encontró información	1
Universidad de Nariño	No se encontró información	1
Universidad a distancia y virtual	No se encontró información	1
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco	No se encontró información	1
Universidad Santo Tomás	No se encontró información	1
Universidad Sergio Arboleda	No se encontró información	1

\*Número de publicaciones relacionadas con la biorremediación en Colombia

Con respecto a las zonas en donde se han realizado estudios de biorremediación en Colombia, se observó que en aquellas industrializadas y con expansión demográfica se concentran los estudios relacionados con esta área de investigación (Fig. 2). Una de estas zonas se encuentra en el departamento de Antioquia donde, como se mencionó anteriormente, se han realizado investigaciones enfocadas en la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.<sup>17</sup> Otro efecto de la industrialización es la generación de residuos de colorantes, por esta razón se realizó un estudio en donde se encontraron hongos del género *Leptosphaerulina*, *Trichoderma* y *Aspergillus* con capacidad para degradar estos contaminantes.<sup>21</sup>



**Figura 2.** Mapa de Colombia resaltando los departamentos donde se han realizado estudios de biorremediación

Fuente: elaboración propia.

Particularmente, para el departamento del Valle del Cauca, se han realizado estudios sobre la fitorremediación de lixiviados. Por ejemplo, en el municipio de San Pedro se evaluó la capacidad de supervivencia de diferentes comunidades fitoplanctónicas en una laguna del sistema algal utilizada para la biorremediación de lixiviados.<sup>19</sup> En otro estudio se realizaron pruebas piloto en dos biorreactores, uno con aguas residuales domésticas y el segundo con agua residuales domésti-

cas más lixiviados al 5%; se encontró que el segundo biorreactor presentó una alta capacidad para el tratamiento de estos residuos.<sup>22</sup> En Ginebra se estudiaron diferentes modelos para la biorremediación de lagunas sugiriendo que estos procesos se pueden implementar, a futuro, en otras zonas contaminadas.<sup>23</sup> Estos resultados son de gran interés para el suroccidente de Colombia, porque crea la necesidad de la búsqueda de microorganismos con capacidad degradadora para así plantear investigaciones sobre pruebas piloto que en un futuro permitan contribuir con el diseño de estrategias de biorremediación.

Con respecto a los grupos de investigación, los pertenecientes a la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Universidad de los Andes y Universidad de Antioquia contribuyeron con el mayor número de publicaciones (Tabla 3). Además, se encontró que algunas empresas del sector privado se han interesado en los estudios de biorremediación, y por ello, han realizado alianzas con grupos de investigación en diferentes universidades.<sup>62,74</sup> Esto demuestra la importancia de entablar lazos colaborativos para la construcción de proyectos relacionados con el tema. Finalmente, se encontró que los investigadores colombianos también trabajan en cooperación con Universidades del exterior, este es el caso de un estudio realizado con la Universidad Santander de México<sup>49</sup> y la Universidad Politécnica de Cataluña de España.<sup>9</sup> Para algunas instituciones no se encontró información sobre el grupo de investigación que realizó la investigación y con respecto a los grupos de investigación de la Universidad Santiago de Cali, hasta la fecha no se han publicado estudios relacionados con el tema (Tablas 2 y 3), lo que muestra la importancia de contar con una información de base que permita a estudiantes y docentes el fomentar esta área de investigación de importancia para el país considerando la problemática ambiental actual.

## REFERENCIAS

1. **Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.** Biodiversidad colombiana [Internet] [cited 2019 Jul 12]. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta>.

2. **Andrade-C MG.** Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Rev Acad Colomb Ciencias Exactas Físicas y Nat.* 2011;35(165):492–507.
3. **Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Quinto informe nacional de biodiversidad de Colombia ante el convenio de diversidad biológica. [Internet] [cited 2019 Jul 12]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/sala-de->. Bogotá, D.C., Colombia 2014.
4. **El Tiempo.** Falta conciencia ambiental. [Internet] 1998 [cited 2019 Jul 12]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-737225>
5. **Guttman E, García J, Cuervo M, Cuervo G.** Población, asentamientos humanos y medio ambiente en Colombia. *El medio ambiente en Colombia.* 2001;48.
6. **Martínez-Sepúlveda J.** Contaminación y remediación de suelos en Colombia: aplicación a la minería de oro/ José Alejandro Martínez Sepúlveda, Miguel Reinaldo Casallas. Bogotá: Universidad EAN, 2018. 112 p.
7. **Garzón J, Rodríguez-Miranda J, Hernández-Gómez C.** Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Univ y Salud.* 2017;19(2):309–318.
8. **Trujillo M, Ramírez J.** Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Rev Investig Agrar y Ambient.* 2012;3(2):37–62.
9. **Vásquez M, Guerrero J, Quintero A.** Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Rev Colomb Biotecnol.* 2010;12(1):141–157.
10. **Narváez-Flórez S, Gómez M, Martínez M.** Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe Colombiano. *Boletín Investig Mar y Costeras.* 2008;37(1):61–75.
11. **Morelli I, Coppotelli C, Madueño L, Del Panno M.** La biorremediación en la era post-genómica. *Química Viva.* 2015;14(1):26–34.
12. **Mosquera T.** Eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de Unión Panamericana, Departamento del Chocó. Universidad de Manizales. 2016;1:71.
13. **Vargas P, Cuéllar R, Dussán J.** Biorremediación de residuos del petróleo. *Apunt Científicos Uniandinos.* 2004;(4):42–49.
14. **Dussán J, Vives-Florez M, Sarria V, Sánchez O.** Aproximaciones biológicas y fisicoquímicas en el tratamiento de contaminantes: un resumen del aporte de la Universidad de los Andes. *Rev Ing.* 2010;(30):100–111.
15. **Valderrama L, Del Campo C, Rodríguez C, De-Bashan L, Bashan Y.** Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscula*. *Water Res.* 2002;36:4185–4192.
16. **Pino N, Carvajal S, Gallo A, Peñuela G.** Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel. *Prod + Limpia.* 2012;7(1):101–108.
17. **Arrieta O, Rivera A, Arias L, Rojano B, Cardona S.** Biorremediación de un suelo con diesel. *Rev Gest y Ambient.* 2012;15(1):27–39.
18. **Rojas J, Hormaza A.** Evaluación de la biodegradación del colorante azul brillante utilizando hongos de la podredumbre blanca y sus consorcios. *Rev UDCA Actual Divulg Científica.* 2015;19(1):179–187.
19. **Botero-Botero L, Upegui-Sosa S, Peñuela-Mesa G.** Microorganisms isolated from polluted urban soils highly effective in degrading recalcitrant pesticides. *Rev Fac Ing.* 2016;80:102–107.
20. **Sardi A, Madera-parra C, Peña-salamanca E, Cerón V, Mosquera J.** Grupos funcionales Fitoplanctónicos en una laguna algal de alta tasa usada para la biorremediación de lixiviados de rellenos sanitarios. *Acta Biológica Colomb.* 2018;23(3):295–303.
21. **Mikán JF, Castellanos Suárez DE.** Screening para el aislamiento y caracterización de microorganismos y enzimas potencialmente útiles para la degradación de celulosas y hemicelulosas. *Rev Colomb Biotecnol.* 2004;6(1):58–71.
22. **Gómez M, Vivas L, Ruiz R, Reyes V, Hurtado C, Ruiz R, et al.** Bacterias marinas nativas degradadoras de compuestos orgánicos persistentes en Colombia. IN- VEMAR, Santa Marta. 2006. 32 p.
23. **Castillo E, Vergara M, Moreno Y.** Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor. *Waste Manag.* 2007;27(5):720–726.
24. **Narváez-Flórez S, Gómez M, Martínez M.** Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe Colombiano. *Bol Investig Mar y Costeras.* 2008;37(1):61–75.
25. **Del Rio P, Uribe I.** Tratamiento de aceites, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y emulsiones provenientes del proceso de decapado, laminación y galvanización del acero a través de la biorremediación de suelos: landfarming. *II Simp Iberoam Ing Residuos.* 2009
26. **Torres K, Zuluaga T.** Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia; 2009.
27. **Gómez W, Gaviria J, Cardona S.** Evaluación de la Bioestimulación frente a la Atenuación natural y la Bioaumentación en un suelo contaminado con una mezcla de gasolina - Diesel. *Dyna.* 2009;76(160):83–93.

28. **Velásquez L, Dussan J.** Biosorption and bioaccumulation of heavy metals on dead and living biomass of *Bacillus sphaericus*. *J Hazard Mater.* 2009;167:713–716.
29. **Torres P, Rodríguez J, Barba L, Marmolejo L, Pizarro C.** Combined treatment of leachate from sanitary landfill and municipal wastewater by UASB reactors. *Water Sci Technol.* 2009;60(2):491–495.
30. **Agudelo R, Peñuela G, Aguirre N, Morató J, Jaramillo M.** Simultaneous removal of chlorpyrifos and dissolved organic carbon using horizontal sub-surface flow pilot wetlands. *Ecol Eng.* 2010;36(10):1401–1408.
31. **Montoya J, Ceballos L, Casas J, Morató J.** Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas. *Esc Ing Antioquia.* 2010;14:75–84.
32. **Vidal J, Marrugo J, Jaramillo B, Perez L.** Remediation de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Ing Desarro.* 2010;27:113–129.
33. **Vásquez M, Guerrero J, Quintero A.** Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Rev Colomb Biotecnol.* 2010;12(1):141–157.
34. **Rozo C, Dussan J.** Análisis de transferencia horizontal de genes en ensayos de biorremediación con grasas recalcitrantes Analysing horizontal gene transfer in bioremediation trials using recalcitrant grease. *Rev Colomb Biotecnol.* 2010;XII(1):22–31.
35. **Manchola L, Dussán J.** *Lysinibacillus sphaericus* y *Geobacillus* sp. Biodegradación de hidrocarburos de petróleo y producción de biosurfactantes. *Remediation.* 2014;25(1):85–100.
36. **Vasco M, Cepero M, Restrepo S, Vives-Florez M.** Recovery of mitosporic fungi actively growing in soils after bacterial bioremediation of oily sludge and their potential for removing recalcitrant hydrocarbons. *Int Biodeterior Biodegradation.* 2011;65(4):649–655.
37. **Pino N, Peñuela G.** Simultaneous degradation of the pesticides methyl parathion and chlorpyrifos by an isolated bacterial consortium from a contaminated site. *Int Biodeterior Biodegradation.* 2011;65:827–831.
38. **Pino N, Domínguez M, Peñuela G.** Isolation of a selected microbial consortium capable of degrading methyl parathion and p-nitrophenol from a contaminated soil site. *Pestic Food Contam Agric Wastes.* 2011;46(2):173–180.
39. **Agudelo C R, Jaramillo M, Peñuela G.** Comparison of the removal of chlorpyrifos and dissolved organic carbon in horizontal sub-surface and surface flow wetlands. *Sci Total Environ.* 2012;431:271–277.
40. **Chanagá X, Plácido J, Marín M, Yepres MDS.** Hongos nativos con potencial degradador de tintes industriales en el Valle de Aburrá, Colombia. *Rev Fac Nac Agron Medellín.* 2012;65(2):6811–6821.
41. **Rengifo-Gallego A, Peña-Salamanca E, Benitez-Campo N.** Efecto de la asociación alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae) en el porcentaje de remoción de cromo en laboratorio. *Rev Biol Trop.* 2012;60(3):1055–1064.
42. **Aponte-Reyes A.** Desarrollo de modelos ecológicos para carbono y nitrógeno en lagunas facultativas secundarias. *Ing Investig y Tecnol.* 2014;15(3):437–456.
43. **Venail P, Vives M.** Positive effects of bacterial diversity on ecosystem functioning driven by complementarity effects in a Bioremediation context. *PLoS One.* 2013;8(9):1–8.
44. **Betancur-Corredor B, Pino N, Cardona S, Peñuela G.** Evaluation of biostimulation and Tween 80 addition for the bioremediation of long-term DDT-contaminated soil. *J Environ Sci.* 2015;28:101–109.
45. **Vásquez Y, Villamil J, Sánchez L, Lancheros A.** Evaluación de un sistema de medio fijo como soporte para una película microbiana capaz de reducir Cr (VI) de lodos residuales de curtiembres. *NCBI.* 2014;12(21):57–66.
46. **Pino N, Munera L, Peñuela G.** Evaluación de la bioestimulación de un consorcio microbiano para la degradación de PCB en suelo. *Hechos Microbiol.* 2015;5(1):16–24.
47. **Palta-Prado G, Morales-Velasco S.** Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial.* 2013;11(2):57–65.
48. **Ñustez D, Paredes D, Cubillos J.** Bioremediation for degradation of total hydrocarbons present in the sediments of a fuel service station. *Rev Técnica la Fac Ing Univ del Zulia.* 2014;37(1):20–28.
49. **Aceves-Diez A, Estrada-Castañeda K, Castañeda-Sandoval L.** Use of *Bacillus thuringiensis* supernatant from a fermentation process to improve bioremediation of chlorpyrifos in contaminated soils. *J Environ Manage.* 2015;157:213–219.
50. **Barrios L, Robayo J, Prieto S, Cardona S.** Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor. *Rev CINTEX.* 2015;20(1):69–96.
51. **Jaramillo F M, Zapata O L, Marulanda L T.** Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp. *Ing USBmed.* 2015;6(2):42.
52. **Cordero J.** Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) y evaluación de Selenio en la Finca Furatena Alta en el Municipio de Útica (Cundinamarca). Tesis para el título de Ingeniera Ambiental. Universidad Libre; 2015.
53. **Forero-Cujiño M, Montengro Ruiz L, Pinilla-Agudelo G, Melgarejo-Muñoz L.** Inmovilización de las microalgas *Scenedesmus ovalternus* (Scenedesmaceae) y *Chlorella vulgaris* (Chlorellaceae) en esferas de alginato de calcio. *Acta Biológica Colomb.* 2015;21(2):437–442.

- 54. Vallejo V, Sandoval J, Garagoa S, Bastos J.** Evaluación del efecto de la bioestimulación sobre la biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados con alquitrán en Soacha, Cundinamarca - Colombia. *Biodivers y Serv Ecosistémicos*. 2016;65(4):354–361.
- 55. Arcila Quiroga LA.** Análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diesel utilizando métodos de bioestimulación y bioaumentación a escala piloto. Tesis para obtener el título de Ingeniero ambiental y sanitario. 2016 (Un 1202):126.
- 56. Gómez-Garzón C, Dussán J.** Evidence-based validation of quorum quenching from *Lysinibacillus sphaericus* and *Geobacillus* sp. in bioremediation of oil sludge. *Can J Microbiol*. 2016;63(1):74–82.
- 57. Vera J.** Remoción de mercurio en aguas contaminadas mediante microorganismos tolerantes, una aproximación a la biorremediación microbiana. Universidad Santo Tomas. 2016.
- 58. Vargas J, Dussán J.** Adsorption of toxic metals and control of mosquitos-borne disease by *Lysinibacillus sphaericus*: dual benefits for health and environment. *Biomed Environ Sci*. 2016;29(3):187–196.
- 59. Silva-Bedoya LM, Sánchez-Pinzón MS, Cadavid-Restrepo GE, Moreno-Herrera CX.** Bacterial community analysis of an industrial wastewater treatment plant in Colombia with screening for lipid-degrading microorganisms. *Microbiol Res*. 2016;192:313–325.
- 60. Alvarez-Yela A, Alvarez-Silva M, Restrepo S, Husserl J, Zambrano M, Danies G, et al.** Influence of agricultural activities in the structure and metabolic functionality of paramo soil samples in Colombia studied using a metagenomics analysis in dynamic state. *Ecol Modell*. 2017;351:63–76.
- 61. Delgado A.** Gestión de un proceso de biorremediación bacteriana de suelo contaminado con crudo en condiciones anaeróbica. Tesis para Magister ambiente y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. 2017.
- 62. Delgadillo-Ordoñez N, Posada-Suárez L, Marcelo E, Cepeda-Hernández M, Sánchez-Nieves J.** Aislamiento e identificación de levaduras degradadoras de hidrocarburos aromáticos, presentes en tanques de gasolina de vehículos urbanos. *Rev Colomb Biotecnol*. 2017;19(2):141–51.
- 63. Guerrero DL, Pinta J, Fernandez P, Ibarguen E, Hidalgo SP, Burbano EM.** Eficiencia en la reducción de Cromo por una bacteria silvestre en un tratamiento tipo Batch utilizando como sustrato agua residual del municipio de Pasto, Colombia. *Univ y Salud*. 2017;19(1):102.
- 64. Vasquez Y, Escobar M, Saenz J, Quiceno-vallejo M, Neculita C, Arbeli Z, et al.** Effect of hydraulic retention time on microbial community in biochemical passive reactors during treatment of acid mine drainage. *Bioresour Technol*. 2017;247:624–632.
- 65. Angulo E, Bula L, Mercado I, Montaña A, Cubillán N.** Bioremediation of Cephalaxin with non-living *Chlorella* sp., biomass after lipid extraction. *Bioresour Technol*. 2017;257:17–22.
- 66. Baldiris R, Acosta-Tapia N, Montes A, Hernández J, Vivas-Reyes R.** Reduction of hexavalent chromium and detection of chromate reductase (ChrR) in *Stenotrophomonas maltophilia*. *Molecules*. 2018;23(2):1–20.
- 67. Bertel-Sevilla A, Cervantes-Ceballos L, Tirado-Ballestas I, Maldonado-Rojas W, Alzate-Restrepo J, Olivero-Verbel J.** Biodegradation of biodiesel-oil by *Cellulosimicrobium* sp. Isolated from Colombian Caribbean soils. *Environ Technol*. 2018;0(0):1–23.
- 68. Copete-Pertuz L, Alandete-Novoa F, Plácido J, Correa-Londoño G, Mora-Martínez A.** Enhancement of ligninolytic enzymes production and decolourising activity in *Leptosphaerulina* sp. by co-cultivation with *Trichoderma viride* and *Aspergillus terreus*. *Sci Total Environ*. 2019;646:1536–1545.
- 69. González-Valenzuela L, Dussán J.** Molecular assessment of glyphosate-degradation pathway via sarcosine intermediate in *Lysinibacillus sphaericus*. *Environ Sci Pollut Res*. 2018;25(23):22790–22796.
- 70. Silva B.** Apoyo técnico proyecto N°. 140917: biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos en un predio ubicado en la localidad de Fontibón. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2018.
- 71. Rangel D, Dussan J.** Transcriptional analysis and molecular dynamics simulations reveal the mechanism of toxic metals removal and efflux pumps in *Lysinibacillus sphaericus* OT4b31. *Int Biodeterior Biodegrad*. 2018;127:46–61.
- 72. Ortiz-Villota M, Romero-Morales M, Meza-Rodríguez L.** La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Rev Investig Desarro e Innovación*. 2018;9(1):163–76.
- 73. Barba LE, Marmolejo LF, Torres P, Rodri JA, Pizarro CA.** Combined treatment of leachate from sanitary landfill and municipal wastewater by UASB reactors. 2009;491–496.
- 74. Silva-Bedoya L, Sánchez-Pinzón M, Cadavid-Restrepo G, Moreno-Herrera C.** Bacterial community analysis of an industrial wastewater treatment plant in Colombia with screening for lipid-degrading microorganisms. *Microbiol Res*. 2016;192:313–25.