



## ¿Qué significa una 'microbiología para el desarrollo sostenible'?

What does 'microbiology for sustainable development' mean?

Walter Alfredo Salas-Zapata\*

### RESUMEN

La orientación de la microbiología hacia la búsqueda del desarrollo sostenible tiene al menos dos implicaciones: i) la investigación en microbiología tiene el fin último de hacer que las sociedades logren la convergencia de prosperidad económica, bienestar social y protección ambiental, y ii) los microorganismos deben ser utilizados para mejorar la adaptabilidad socioecológica de las actividades humanas. El panorama actual de la investigación en microbiología relacionada con el desarrollo sostenible muestra que las investigaciones se han concentrado en problemas y temas de carácter agro-pecuario-industrial y aquellos relacionados con generación de energía; y en el uso de los microorganismos que incluye: el monitoreo de ecosistemas, la biodegradación de contaminantes, y el aprovechamiento de residuos. No obstante, a pesar de que estos usos son indispensables para que la microbiología contribuya al desarrollo sostenible, es necesario resolver otros retos que no son fáciles de detectar en los estudios que observan el desarrollo de la microbiología. Existen al menos tres retos: el primero es explorar la micro-biodiversidad para ampliar las alternativas de transformación de actividades humanas, particularmente las industriales; el segundo es analizar la sostenibilidad de las actividades humanas que incorporan microorganismos con el fin de hacerlas más sostenibles y, el tercero, formar microbiólogos para la sostenibilidad.

**PALABRAS CLAVE:** Microbiología, Sostenibilidad, Investigación.

### ABSTRACT

The quest for sustainable development as a purpose of microbiology has at least two implications: i) research in microbiology has the ultimate aim of leading societies to reach the convergence of economic prosperity, social wellbeing and environmental protection and, ii) microorganisms should be used to improve the social-ecological adaptability of human activities. The current state of research in microbiology related to sustainable development shows that studies have focused on challenges in the field of agriculture, livestock, and energy production, and in fields where microorganisms have diverse uses such as ecosystems monitoring, pollutant biodegradation and waste utilization (by-product generation). However, despite all these uses being essential for microbiology to contribute to sustainable development, it is necessary to resolve other problems not easily detectable in studies related to microbiology development. There are, at least, three challenges: firstly, the exploration of micro-biodiversity in order to provide more alternatives of transformation for industrial activities; secondly, the sustainability analysis of those human activities that have already included microbial technologies to make them more sustainable; and thirdly, the need to train microbiologists on sustainable development.

**KEYWORDS:** Microbiology, sustainability, research.

\* PhD en Sostenibilidad. Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad. Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia. Contacto: [walter.salas@udea.edu.co](mailto:walter.salas@udea.edu.co)

Recepción: 21-02-2019. Aceptación: 04-04-2019

Cómo citar este artículo: Salas-Zapata WA. ¿Qué significa una 'microbiología para el desarrollo sostenible'? Hechos Microbiol. 2018;Vol9(Nº1-2):43-50

## INTRODUCCIÓN

La era del desarrollo sostenible ha traído consigo el propósito implícito de que en toda actividad o artefacto humano deben converger propósitos económicos, sociales y ambientales. Un reflejo de la existencia de dicho propósito es la actual búsqueda de diversos ámbitos de la acción humana como la agricultura, las tecnologías, la construcción, las inversiones, la producción industrial, la energía, la actividad empresarial, los campus universitarios y la pesca, por ser cada vez más sostenibles. Reflejo de esta diversidad es el florecimiento de diferentes áreas del conocimiento que estudian la sostenibilidad.<sup>1</sup>

Esta diversidad de escenarios de acción humana también implica que las disciplinas científicas que pueden contribuir al desarrollo sostenible son igualmente diversas. Entre ellas se encuentra la microbiología. No obstante, para un lector desprevenido que haya sido testigo de la variedad de formas como la gente utiliza los términos ‘sostenibilidad’ y ‘desarrollo sostenible’, la discusión sobre el significado de una microbiología para el desarrollo sostenible podría parecer un tema cliché y ser asumida con escepticismo.

Por esa razón, en este artículo de reflexión sobre lo que significa una ‘microbiología para el desarrollo sostenible’ voy a referirme a varios trabajos realizados por investigadores de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia que ayudan a resolver la pregunta planteada en el título. En tal sentido, partiré de unas definiciones básicas de sostenibilidad para explicar el significado de que ‘algo’ contribuya al desarrollo sostenible, luego me referiré al panorama actual de la investigación en microbiología relacionada con desarrollo sostenible y, finalmente, señalo tres retos que es necesario alcanzar para mejorar las contribuciones de la microbiología al desarrollo sostenible.

### ¿QUÉ SIGNIFICA QUE ‘ALGO’ CONTRIBUYA AL DESARROLLO SOSTENIBLE?

Una dificultad para entender el alcance de esta pregunta es que el intento de definir qué es sostenible o qué es sostenibilidad a veces no parece sencillo. Esta dificultad también me la han manifestado estudiantes y colegas en diferentes momentos y, en parte, ello se debe a dos razones: primero, la definición de sostenibilidad no siempre es visible en trabajos sobre sostenibilidad;

al menos el estudio de Salas y colaboradores<sup>1</sup> mostró que el 91,3% de investigaciones que en su título incluían alguno de estos dos términos nunca definieron qué era sostenibilidad. Su significado parece obviarse y, en consecuencia, recurrir a este tipo de fuentes bibliográficas puede no ser la opción más adecuada para entender el significado de este concepto. En segundo lugar, en la literatura científica es frecuente encontrar afirmaciones alusivas a las múltiples definiciones de sostenibilidad y de desarrollo sostenible como un factor que contribuye a generar más confusión.<sup>2</sup>

#### *Dos significados de sostenibilidad*

Un trabajo<sup>2</sup> realizado con el fin de esclarecer los significados del concepto de sostenibilidad permitió establecer que, en medio de esta aparente confusión, existen al menos cuatro significados. Así, sostenibilidad puede entenderse como un propósito o meta, por alcanzar, de la humanidad; también puede entenderse como adaptabilidad socioecológica, igualmente se asume como un enfoque que consiste en incorporar variables, categorías o dimensiones socioecológicas del ‘aquello’ que esté siendo estudiado; y también puede concebirse como un conjunto de criterios socioecológicos que orientan la acción humana. Para responder la pregunta sobre el significado de una microbiología para el desarrollo sostenible basta considerar los dos primeros significados de sostenibilidad.

- *Sostenibilidad como propósito, meta o aspiración de la humanidad*

Sostenibilidad es una condición que la humanidad desea alcanzar. Esa condición ideal es aquella en la que las sociedades cumplen simultáneamente propósitos económicos, sociales y ecológicos tales como prosperidad económica, equidad, calidad de vida y bienestar social, y protección ambiental.<sup>2</sup> Esta forma de entender sostenibilidad es la misma que subyace a la idea de desarrollo sostenible impulsada desde el Informe Brundtland, las cumbres mundiales sobre desarrollo sostenible como Río 92, Johannesburgo y Río+20, y por las agencias internacionales de las Naciones Unidas. En este ámbito, desarrollo sostenible se ha definido como el desarrollo que ‘satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la capacidad de las futuras de satisfacer las propias’<sup>3</sup>

Esta definición representa en sí misma una meta de la humanidad en tanto la búsqueda por satisfacer necesidades sin afectar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias, se logra cuando la prosperidad económica garantiza la protección ambiental y la equidad necesaria para el disfrute de las siguientes generaciones. Por esa razón, en este contexto, sostenibilidad y desarrollo sostenible son sinónimos.

No obstante, frente a este significado de sostenibilidad la pregunta que surge de manera inmediata es ¿si sostenibilidad es una visión, entonces como se logra? Es ahí donde se observan algunas limitaciones de este significado de sostenibilidad. Una de ellas es que este significado solo tiene sentido cuando lo que se espera que sea sostenible es un modelo de desarrollo y, por tanto, su aplicación más allá de ese ámbito puede ser forzada y llevaría a una sobrestimación de su alcance.<sup>4</sup> Otra limitación es que este significado no da cuenta de un concepto operativo y, en consecuencia, a su vez dificulta la formulación y ejecución de proyectos de desarrollo científico-tecnológico. Si no es claro cuáles son los atributos de 'algo' sostenible, es difícil estudiar y transformarlo para que sea más sostenible. Por esa razón, se puede decir que, a pesar de que este significado de sostenibilidad es adecuado para señalar las metas que una sociedad quiere alcanzar, no es adecuado para entender la naturaleza de los cambios que debe realizar. En este punto es necesario introducir el segundo significado de sostenibilidad.

- *Sostenibilidad como adaptabilidad socioecológica*

Sostenibilidad también puede entenderse como la capacidad que tiene un sistema de reorganizar adaptativamente su estructura e interacciones socioecológicas, para sobreponerse a perturbaciones, y mantener unos atributos esenciales.<sup>5-8</sup> Esto también se conoce como resiliencia socioecológica.<sup>6-8</sup> En términos generales, toda actividad humana establece algún tipo de interacción con ecosistemas, recursos naturales, y grupos humanos. Esas interacciones se denominan interacciones socioecológicas. Cuando las actividades humanas se ajustan a las características de

los ecosistemas y grupos humanos con los que entran en interacción, se considera que las interacciones socioecológicas son adaptativas y las actividades humanas son más sostenibles.<sup>8</sup>

En ese sentido, actividades como la agricultura, la ganadería, la producción industrial, la generación y uso de energía, las ciudades y la pesca no se consideran sostenibles porque persiguen propósitos económicos, sociales y ecológicos sino porque llevan a cabo cambios que les permiten ajustarse adaptativamente a las características y dinámicas propias de los ecosistemas y grupos humanos con los que se relacionan. Dado lo anterior, se puede decir que la microbiología contribuye al desarrollo sostenible cuando los microorganismos son utilizados para mejorar la adaptabilidad de las interacciones socioecológicas de estas actividades. Así, el logro de una sociedad en la que concurren prosperidad económica, bienestar social, conservación de los ecosistemas y recursos naturales, es solo una consecuencia de la utilización de microorganismos.

#### **PANORAMA DE LA MICROBIOLOGÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

Para analizar qué tan cerca se encuentra la microbiología de contribuir al desarrollo sostenible cabe destacar tres trabajos de investigación<sup>9-11</sup> que muestran el panorama de las investigaciones en microbiología relacionadas con desarrollo sostenible. En particular, estos estudios permiten identificar los problemas y temas de estudio, y los usos que están teniendo los microorganismos.

*Problemas socioecológicos y temas de estudio*

Las investigaciones en microbiología relacionadas con desarrollo sostenible se han venido focalizando principalmente en problemas socioecológicos y temas relacionados con la contaminación y agotamiento de suelos, aguas y energía que están circunscritos en los sectores agroindustrial y pecuario de la economía (Tabla 1).

**Tabla 1.** Problemas socio-ecológicos y temas de estudio

Problemas	Temas	Fuente
Desgaste de suelos por producción a gran escala	<i>Fertilización de suelos.</i> • Utilización de hongos (Micorrizas) para mejorar la disponibilidad de agua y nutrientes en los suelos. • Utilización de microalgas para producir fertilizantes • Producción de biofertilizantes	9,10
	Monitoreo de calidad de suelo	11
Uso excesivo de fertilizantes, y pesticidas para mantener los cultivos	Producción de Pesticidas • Utilización de microalgas para producir pesticidas	9
Degradación y agotamiento de tierras cultivables	Acuicultura • Se utilizan microalgas como alimento para peces reduciendo costos ambientales • Piscicultura	9,10
Erosión de suelos de uso no agrícola		
agotamiento de las fuentes energéticas	<i>Producción de energía</i> • Utilización de microalgas para producir biogás, biodisel, biohidrógeno y bioetanol • Producción de biocombustibles	9,10
Contaminación y agotamiento de fuentes de agua	<i>Biodegradación de contaminantes (Aguas):</i> • Biomineralización, transformación de contaminantes o reducción de su toxicidad • Monitoreo de calidad de agua	11
	Tratamiento de aguas	10
Problemas relacionados con el desempeño ambiental de proceso productivos	<i>Aprovechamiento de residuos industriales</i> • Obtención de subproductos de materiales o compuestos a partir de residuos	11
	• Hongos para conversión de etanol en acetato de etilo	9
	• Producción de biomateriales	10
Contaminación por compuestos no biodegradables	<i>Biodegradación de contaminantes:</i> • Biomineralización, transformación de contaminantes o reducción de su toxicidad	11
	• Hongos para solubilización de fósforo inorgánico	
	• Biorremediación – Degradación de compuestos tóxicos	9, 10

#### *Usos de los microorganismos*

En el contexto de estos problemas de insostenibilidad los microorganismos han venido siendo utilizados de tres maneras:<sup>11</sup> el primer uso corresponde a su utilización como indicadores para monitorear ecosistemas o determinadas actividades humanas; el segundo corresponde a su utilización para biodegradar contaminantes o reducir su toxicidad y, el tercero, a la utilización de estos para generar subproductos a partir de residuos. A continuación, profundizo un poco más en estos usos:

- a. *Desarrollo de indicadores y monitoreo de procesos.* Los microorganismos (o alguno de sus atributos) pueden relacionarse con determinados parámetros ecológicos y, en consecuencia, pueden ser utilizados para monitorear algún recurso natural, un ecosistema, o el impacto ambiental de determinadas actividades humanas. Tal vez el ejemplo más común en este contexto es el uso de coliformes como indicadores de calidad del agua. No obstante, también existen otras formas de utilizar microorganismos como indicadores. Por ejemplo, la observación de los cambios en las comu-

nidades bacterianas para monitorear ecosistemas marinos,<sup>12</sup> el uso de *Isochrysis alabana* y *Daphnia* como indicadores de toxicidad de compuestos halogenados —también en ecosistemas marinos—<sup>13</sup> la observación de comunidades bacterianas y grupos funcionales de estas como indicadores de la recuperación de suelos contaminados por residuos provenientes de la producción de carbón,<sup>14</sup> el monitoreo de la restauración de ríos mediante la observación de poblaciones microbianas en suelos ribereños,<sup>15</sup> la medición de la colonización de las raíces por las micorrizas para conocer el efecto de biosólidos en suelos arables y pastizales,<sup>16</sup> el monitoreo de la toxicidad, sobre el agua, de herbicidas usados contra malezas de cultivos de canola<sup>17</sup> e, incluso, la utilización de bacterias bioluminiscentes usadas como sensor de compuestos tóxicos en agua.<sup>18</sup>

- b. *Biodegradación de contaminantes o reducción de su toxicidad.* En este caso los microorganismos son utilizados para biomineralizar contaminantes, transformarlos o reducir su toxicidad mediante la captación de un compuesto o un elemento para hacerlo más asimilable por un ecosistema.

En este contexto se pueden mencionar usos tan diversos como la utilización de *Bacillus* spp. para la remoción de metales pesados (Zn y Cr) en la producción de biosurfactantes<sup>19</sup> el uso de microorganismos para degradar polietileno,<sup>20</sup> el uso y aislamiento de hongos con capacidad biodegradadora de plástico,<sup>21</sup> la utilización de comunidades en un biofiltro para remover nutrientes y disminuir niveles de DBO y DQO de aguas grises,<sup>22</sup> y la utilización de microorganismos para biodegradar y biomineralizar ibuprofeno y herbicidas.<sup>23</sup>

- c. *Aprovechamiento de residuos y obtención de subproductos.* Corresponde a la utilización de microorganismos para obtener subproductos (un material, compuesto o elemento) a partir de contaminantes resultantes de actividades humanas. Tal vez entre los usos más comunes se puede mencionar la utilización de microorganismos para el aprovechamiento de residuos agrícolas y producción de combustibles.<sup>24</sup> No obstante, también se pueden mencionar otros usos como el cultivo de hongos y levaduras utilizando efluentes de la producción de mejillones para la obtención de proteínas, material rico en

glucanos y glicoproteínas, y de extractos con potencial anti-oxidante.<sup>25</sup> También se han identificado *Bacillus* spp. como potenciales cepas productoras de polihidroxialcanoatos a partir de almidón de yuca residual,<sup>26</sup> se ha producido biomasa de algas utilizando como sustrato aguas residuales de producción lechera,<sup>27</sup> así como microorganismos para producir energía (H<sub>2</sub>) a partir de procesos fermentativos de aguas residuales<sup>28</sup> y, también, se han utilizado consorcios para generar compost a partir de residuos de sericultura.<sup>29</sup>

#### RETOS PARA PROMOVER EL DESARROLLO SOSTENIBLE

El panorama aquí descrito muestra que la investigación en microbiología se ha concentrado en problemas y aplicaciones concretas de los microorganismos. No obstante, hay problemas o desafíos cuya solución es necesaria para que estos usos de los microorganismos se materialicen en contribuciones más profundas y reales al desarrollo sostenible. Estos problemas escapan a la óptica y alcance de las tres investigaciones<sup>9-11</sup> que sirvieron para describir este panorama. A continuación, señalo brevemente la necesidad e importancia de estos.

##### *La exploración de la biodiversidad para conversiones industriales*

El primer reto consiste en explorar la amplia variedad de especies microbianas que puede existir en países con alta biodiversidad como Brasil, Colombia e Indonesia, y traducir esos hallazgos en transformaciones reales de procesos industriales. Este reto no es visible a simple vista en los estudios de microbiología porque no es un objetivo que se proponga una investigación de manera individual. Se trata más bien de propósitos de cambios que suceden en las cadenas productivas de un país.

Las cadenas productivas de una economía transcurren entre la exploración y explotación de recursos naturales, la producción de materias primas, la fabricación, distribución y consumo de bienes y servicios, y la disposición y manejo final de los desechos y residuos. Para que la exploración de la biodiversidad se traduzca en desarrollo industrial sostenible es necesario que los países generen incentivos para que todos estos eslabones se conecten alrededor de criterios socioecológicos.

Esto implica financiar programas de investigación que conecten varios eslabones de las cadenas productivas, generar incentivos y normas que impulsen a las empresas a llevar a cabo cambios en los productos y servicios que hacen parte de cada eslabón, impulsar una cultura de la sostenibilidad que promueva en los ciudadanos creencias, actitudes, conocimientos y prácticas pro-ambientales que movilicen sus preferencias como consumidores. Esto significa que países con alta biodiversidad tienen un alto potencial para desarrollar fuertes industrias biotecnológicas.

#### *Análisis de sostenibilidad luego de la incorporación de innovaciones basadas en microorganismos*

Otro aspecto que no es visible en las investigaciones de microbiología son las transiciones hacia la sostenibilidad. Es decir, los tres usos de los microorganismos aquí descritos tienen en común la pretensión de hacer que una determinada actividad humana sea más sostenible. Sin embargo, ninguno de los tres estudios de referencia<sup>9-11</sup> da cuenta de la realización de análisis de sostenibilidad que permitan estudiar las mejoras sucedidas en las actividades humanas que implementaron innovaciones basadas en microorganismos.

Lo anterior puede ser indicativo de al menos dos situaciones alternativas: primero, hay escasez de análisis de sostenibilidad de las actividades humanas específicas que implementan las innovaciones basadas en microorganismos; no obstante, este escenario sería poco creíble dado el incremento de publicaciones científicas relacionado con sostenibilidad en áreas tan diversas como agricultura, energía, pesca y silvicultura, recursos hídricos y economía y negocios, entre otros;<sup>30</sup> el segundo escenario puede significar que hay estudios de sostenibilidad de esas actividades humanas pero los investigadores no refieren cuánto contribuye la utilización del microorganismo a la sostenibilidad de la actividad humana. Cualquiera de los dos escenarios parece indicar que se necesitan estudios que evalúen las contribuciones que hacen los microorganismos a la sostenibilidad de las actividades humanas en las que estos se utilizan.

#### *Formación para la sostenibilidad de los microbiólogos*

Los usos de los microorganismos descritos aquí no tienen efectos prácticos sobre la sostenibilidad de las actividades humanas si quienes trabajan con estos

no tienen la capacidad de reconocer y comprender el carácter complejo de los problemas socioecológicos. Ninguno de los trabajos citados en este artículo da cuenta de este aspecto. Sin embargo, si en un análisis hipotético se comparan dos grupos de microbiólogos, un grupo A que es capaz de reconocer la insostenibilidad y comprender la complejidad de la adaptabilidad socioecológica de las actividades humanas, y un grupo B que no tiene tales capacidades, sería lógico suponer que el grupo A tiene más posibilidades de contribuir al desarrollo sostenible que el grupo B porque sabe cuándo la utilización de un microorganismo puede influir en la adaptabilidad socioecológica. El grupo B, por el contrario, contribuiría menos por su incapacidad de leer los requerimientos y restricciones que impone su entorno socioecológico.

## CONCLUSIONES

Una microbiología para el desarrollo sostenible significa que la investigación en microbiología está guiada por el propósito de contribuir a la construcción de una visión de sociedad en la que convergen prosperidad económica, bienestar social y protección de los ecosistemas. Esa construcción se materializa cuando los microorganismos se utilizan para mejorar la adaptabilidad socioecológica de las actividades humanas.

El panorama de la investigación en microbiología muestra que los problemas socioecológicos del ámbito agro-pecuario-industrial son las que han recibido más atención de los investigadores y que los microorganismos son utilizados de tres maneras para contribuir a resolver estos problemas. Los microorganismos pueden ser utilizados para monitorear ecosistemas o los impactos ambientales de determinadas actividades humanas, también para biodegradar contaminantes o reducir su toxicidad y, de igual manera, para generar subproductos a partir de residuos.

A pesar de que estos usos son indispensables, para que la microbiología contribuya al desarrollo sostenible es necesario que los países resuelvan otros desafíos que van más allá de estos usos. Existe la necesidad de explorar la microbiodiversidad disponible para incrementar las posibilidades de encontrar alternativas de transformación de procesos industriales. También es necesario evaluar qué tanto los usos de los microorga-

nismos contribuyen a mejorar la adaptabilidad socioecológica de las actividades humanas y, de igual manera, es indispensable la formación de microbiólogos para que hagan lecturas adecuadas de los problemas socioecológicos y tomen decisiones técnicas consistentes con la complejidad de la adaptabilidad.

## REFERENCIAS

1. **Salas-Zapata WA, Ríos-Osorio LA, Cardona-Arias JA.** Methodological characteristics of sustainability science: a systematic review. *Environment Development and Sustainability*. 2017;19(4):1127-1140. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9801-z>
2. **Salas-Zapata, WA, Ortiz-Muñoz, SM.** Analysis of meanings of the concept of sustainability. *Sustainable Development*. 2018;27(1):153-161. <https://doi.org/10.1002/sd.1885>
3. **World Commission on Environment and Development.** Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations Doc A/42/427. New York: United Nations;1987. 374 p.
4. **Hansson S.** Technology and the notion of sustainability. *Technology in Society*. 2010; 32:274–279.
5. **Bodin P, Wiman B.** Resilience and other stability concepts in ecology: notes on their origin, validity and usefulness. *ESS Bull*. 2004;2:33-43.
6. **Folke C.** Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems. *Global Environmental Change*. 2006;16(3):253–267.
7. **Holling C.** Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*. 2001;4:390–405
8. **Berkes F, Colding J, Folke C.** Introduction. In: Berkes (Ed.), *Navigating socioecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2003.
9. **Ortiz-Muñoz S, Mejía-Escobar JA, Ríos-Osorio LA, Salas-Zapata WA.** Análisis de los micro-contextos de la investigación en microbiología desde la perspectiva de la sostenibilidad. *Panace@: Revista de Medicina, Lenguaje y Traducción*. 2017;45(9):19-29.
10. **Salas-Zapata W, Zuluaga-González D, Alzate-Caicedo E.** Procesos microbianos y actividades humanas relacionados con problemas de insostenibilidad: Revisión sistemática 2005-2012. *Hechos microbiológicos*. 2019 (Hechos Microbiol. 2016;7(1-2):39-51.
11. **Zuluaga-Mazo C, Arango-Bermudez D, Salas-Zapata, W.** Profile of the use of microorganisms within environmental management: Systematic review 2012-2017. Informe de investigación.
12. **Aylagas E, Borja A, Tangherlini M, Dell'Anno A, Corinaldesi C, Michell CT, Irigoien X, Danovaro R, Rodríguez-Ezpeleta N.** A bacterial community-based index to assess the ecological status of estuarine and coastal environments. *Marine pollution bulletin*. 2017;114(2):679-688 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.050>
13. **Fisher D, Yonkos L, Ziegler G, Friedel E, Burton D.** Acute and chronic toxicity of selected disinfection byproducts to *Daphnia magna*, *Cyprinodon variegatus*, and *Isochrysis galbana*. *Water Research*. 2014;55:233-244 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.056>
14. **Técher D, Laval-Gilly P, Bennisroune A, Henry S, Martinez-Chois C, D'Innocenzo M, et al.** An appraisal of *Miscanthus x giganteus* cultivation for fly ash revegetation and soil restoration *Industrial Crops and Products*. 2012; 6(1):427-433. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.10.009>
15. **Battle-Aguilar J, Brovelli A, Barry DA, Luster J, Shrestha J, Niklaus PA.** Analysis of carbon and nitrogen dynamics in riparian soils: model validation and sensitivity to environmental controls. *The Science of the total environment*. 2012;429:246-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.026>
16. **Hazard C, Boots B, Keith AM, Mitchell DT, Schmidt O, Doohan FM, et al.** Temporal variation outweighs effects of biosolids applications in shaping arbuscular mycorrhizal fungi communities on plants grown in pasture and arable soils. *Applied Soil Ecology*. 2014;82:52-60. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.007>
17. **Oliver DP, Kookana RS, Miller R, Correll RL.** Comparative environmental impact assessment of herbicides used on genetically modified and non-genetically modified herbicide-tolerant canola crops using two risk indicators *The Science of the total environment*. 2016;557-558: 754-63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.106>
18. **Eltzov E, Yehuda A, Marks R.** Creation of a new portable biosensor for water toxicity determination. *Sensors and Actuators*. 2015;221:1044-1054. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.06.153>
19. **Karnwal A, Bhardwaj V.** Bioremediation of heavy metals (Zn and Cr) using microbial biosurfactant. *Journal of Environmental Research and Protection*. 2014;11(1):29-33.
20. **Peixoto J, Silva LP, Krüger R.** Brazilian Cerrado soil reveals an untapped microbial potential for unpretreated polyethylene biodegradation. *J Hazard Mater*. 2017;324:634-644. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.037>
21. **Sain S, Sengupta S, Kar A, Mukhopadhyay A, Sengupta S, Kar T, et al.** Effect of modified cellulose

- fibres on the biodegradation behaviour of in-situ formed PMMA/cellulose composites in soil environment: Isolation and identification of the composite degrading fungus. *Polymer Degradation and Stability*, 2014;99(1):156-165. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.012>
22. **Boddu VM, Paul T, Page MA, Byl C, Ward L, Ruan J.** Gray water recycle: Effect of pretreatment technologies on low pressure reverse osmosis treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016;4(4):4435-4443. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.09.031>
23. **Girardi C, Nowak K, Carranza-Diaz O, Lewkow B, Miltner A, Gehre M, et al.** Microbial degradation of the pharmaceutical ibuprofen and the herbicide 2,4-D in water and soil — Use and limits of data obtained from aqueous systems for predicting their fate in soil. *Science of the Total Environment*. 2013;444(1):32-42. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.051>
24. **Daza-Serna LV, Solarte-Toro JC, Serna-Loaiza S, Chacón-Pérez Y, Cardona-Alzate CA.** Agricultural Waste Management Through Energy Producing Biorefineries: The Colombian Case. *Waste Biomass Valor*. 2016;7(4):789-798. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9576-3>
25. **Prieto MA, Ferreira I, Vázquez JA, Prieto I.** An environmental management industrial solution for the treatment and reuse of mussel wastewaters. *Science of the Total Environment*. 2015;538(15):117-128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.041>
26. **Krueger C, Radetski CM, Bendia AG, Oliveira IM, Castro-Silva MA, Rambo CR, et al.** Bioconversion of cassava starch by-product into Bacillus and related bacteria polyhydroxyalkanoates. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2012;15(3):8-8. <https://doi.org/10.2225/vol15-issue3-fulltext-6>
27. **Prajapati SK; Choudhary P, Malik A, Vijay VK.** Algae mediated treatment and bioenergy generation process for handling liquid and solid waste from dairy cattle farm. *Bioresource Technology*. 2014;167:260-268. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.038>
28. **Mishra P, Roy S, Das D.** Comparative evaluation of the hydrogen production by mixed consortium, synthetic co-culture and pure culture using distillery effluent. *Bioresource Technology*. 2015;198:593-602. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.074>
29. **Ravikumar J, Samuthiravelu P, Qadri, SMH, Hemanthkumar L, Vijayakumar R, Sakthivel N, et al.** Role of Decomposer Microbial Consortium in Sericultural Waste Management. *Acta Biologica Indica*. 2014;3(2):668-671.
30. **Kajikawa Y, Tocoa F, Yamaguchi K.** Sustainability science: the changing landscape of sustainability research. *Sustainability Science*. 2014;9(4):431-438. <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0244-x>