



# Procesos microbianos y actividades humanas relacionados con problemas de insostenibilidad: Revisión sistemática 2005-2012

*Microbial processes and human activities related to problems of unsustainability: a systematic review 2005-2012*

Walter A. Salas-Zapata<sup>\*,†</sup>, Deisy J. Zuluaga-González<sup>\*</sup>, Edwin E. Alzate-Caicedo<sup>‡</sup>

**Conflicto de intereses:** los autores declaran no tener conflictos de interés.

## RESUMEN

**INTRODUCCIÓN:** los problemas de insostenibilidad son problemas de carácter socio-ecológico. El estudio de este tipo de problemas requiere de los aportes de diferentes disciplinas, entre ellas la microbiología.

**MÉTODOS:** estudio de revisión sistemática en el que se propuso describir los problemas de insostenibilidad que estudia la microbiología, y los procesos microbianos y las actividades humanas relacionadas con estos.

**RESULTADOS:** los resultados indican que hay dos problemas que concentran la mayoría de las investigaciones en microbiología: la degradación de suelos y agotamiento de tierras cultivables, y el agotamiento de fuentes de energía. Así mismo, los procesos microbianos que en este contexto adquieren mayor interés son el reciclaje de nutrientes y la producción de lípidos e hidrógeno.

**CONCLUSIÓN:** las actividades humanas en las que el estudio de estos procesos tiene lugar son las prácticas de manejo de cultivos, uso y producción de fertilizantes, y la producción de biocombustibles.

**PALABRAS CLAVE:** microbiología, desarrollo sostenible, actividades humanas, procesos microbianos, agricultura, energía.

\* PhD en Sostenibilidad, Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia.

† Correo electrónico: [walter.salas@udea.edu.co](mailto:walter.salas@udea.edu.co)

‡ Microbiólogo Industrial y Ambiental, Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia.

Recepción: 21-02-2019. Aceptación: 25-04-2019

**Cómo citar este artículo:** Salas-Zapata W, Zuluaga-González DJ, Alzate-Caicedo EE. Procesos microbianos y actividades humanas relacionados con problemas de insostenibilidad: Revisión sistemática 2005-2012. Hechos Microbiol. 2016;7(1-2):48-60

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** the problems of unsustainability are social-ecological issues. The study of this kind of problems requires contributions from different disciplines such as microbiology.

**METHODS:** this systematic review of the literature was aimed at describing problems of unsustainability tackled by microbiology, as well as the microbial processes and human activities related to them.

**RESULTS:** the results indicate that studies on microbiology focus mainly on two problems, namely, farmland degradation and depletion, and energy sources depletion. In this context, the microbial processes that seem to be more important are nutrient recycling, and lipid and hydrogen production.

**CONCLUSION:** the human activities explored to study these processes are crop management practices, biofertilizer use and production, and biofuel production.

**KEYWORDS:** microbiology, sustainable development, human activities, microbial processes, agriculture, energy.

## INTRODUCCIÓN

La investigación en sostenibilidad, también llamada ciencia de la sostenibilidad, es una tendencia científica caracterizada por su interés en entender el carácter fundamental de las interacciones dinámicas entre naturaleza y sociedad.<sup>1,2</sup> Por esa razón, los problemas que estudia la investigación en sostenibilidad son aquellos relacionados con las interacciones de los seres humanos y la naturaleza, tales como el cambio climático, la deforestación, la contaminación atmosférica, la erosión y la desertificación de suelos, el aumento demográfico, la pobreza, los desequilibrios norte-sur en la distribución de la riqueza, y los efectos de la contaminación sobre la salud humana.

Debido a que involucran diferentes perspectivas y elementos de carácter socio-ecológico, los problemas de insostenibilidad ameritan abordajes desde diferentes disciplinas.<sup>3</sup> Así, dado que en estos problemas se mezclan con frecuencia procesos de orden bioquímico, físico, ecológico, cultural, económico, social y político, la solución de los mismos requiere contribu-

ciones provenientes de una amplia gama de disciplinas científicas. Una de ellas es la microbiología.

La microbiología es la ciencia que estudia los microbios y su influencia en el resto de la vida.<sup>4</sup> De ese modo, para analizar la contribución que la microbiología realiza, o puede realizar, a la solución de problemas de insostenibilidad sería necesario examinar, al menos, los problemas de insostenibilidad, las actividades humanas de carácter socio-ecológico, y los microorganismos o procesos microbianos que están siendo objeto de interés de las investigaciones en microbiología, o cuyo estudio ha sido escaso.

Con relación a asuntos ambientales y de sostenibilidad, las investigaciones en microbiología, se han enfocado en problemas como la contaminación de suelos y sedimentos, la eliminación de contaminantes del aire, la degradación de compuestos recalcitrantes y el agotamiento de fuentes de energía.<sup>5</sup> Estos problemas han implicado esfuerzos por estudiar la manera como los microorganismos y sus procesos pueden ser utilizados para re-establecer suelos y aguas, o como indicadores de calidad de los mismos, así como su posible uso para producir energías alternativas.

No obstante, la identificación de estos problemas de interés no ha sido producto de un análisis global y sistemático sobre la manera como la investigación en microbiología se ha insertado en el estudio de problemas de insostenibilidad. No se han reportado análisis de este tipo en la literatura científica y, en consecuencia, tomar decisiones sobre el tipo de problemas, actividades humanas y procesos microbianos que deben ser tenidos en cuenta en la formación e investigación en microbiología, con orientación hacia la sostenibilidad, se hace más difícil.

Desde el punto de vista de la formación de microbiólogos, una descripción del panorama de problemas de insostenibilidad, de las actividades humanas generadoras de estos, y de los procesos microbianos relacionados, permitiría definir ejes problemáticos y seleccionar los conceptos de microbiología que han de ser incluidos dentro de los cursos y programas de formación. Por otra parte, desde el punto de vista de procesos de investigación, la descripción de este panorama permitiría problematizar los usos de los microorganismos en problemas de insostenibilidad que estén siendo desatendidos por los estudios de microbiología.

Este tipo de circunstancias justifica la realización de una revisión sistemática de estudios de microbiología relacionados con sostenibilidad. Las revisiones sistemáticas se hacen necesarias cuando los estudios individuales presentan discrepancias entre sí, no son concluyentes sobre un asunto determinado, o cuando es necesario tener estimaciones menos sesgadas.<sup>6</sup> En este caso, los estudios publicados no proveen de manera individual un panorama de problemas de insostenibilidad, procesos microbianos y actividades humanas relacionadas.

Por esa razón, el objetivo de este estudio fue describir los problemas de insostenibilidad, las actividades humanas, y los procesos microbianos relacionados, mediante una revisión sistemática de literatura científica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Tipo de estudio:* Revisión sistemática de la literatura.

### A. PROTOCOLO DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS

Para buscar los artículos se utilizaron bases de datos Science Direct, SCielo, y Scholar Google. Para la identificación de términos de búsqueda se realizó una búsqueda preliminar de referencias bibliográficas en la base de datos Scopus, utilizando el campo de búsqueda ‘article title/abstract/keywords’. En este campo se hicieron cuatro búsquedas con las siguientes combinaciones de términos: Sustainability AND Microbiology, Sustainable development AND Microbiology, Sustainability AND Microorganisms, Sustainable development AND Microorganism.

En cada uno de los resultados de las cuatro búsquedas se utilizó el filtro ‘Keyword’ para identificar términos relacionados con microbiología y sostenibilidad. Se identificaron los términos: bacteria, microorganism, bacterium, fungi, microalgae, microbiology, sustainable development, fungus, microbial, y sustainability como los más frecuentes.

#### Estrategia de búsqueda

La búsqueda de los artículos se llevó a cabo usando la siguiente estrategia de búsqueda: (Sustainability OR “Sustainable development”) AND (Microbiology OR microorganism OR microbial OR bacteria OR bacterium OR fungi OR microalgae OR fungus). En Scien-

ce Direct se utilizó el campo de búsqueda ‘all fields’; en Scielo se utilizó el campo de ‘búsqueda integrada’; y en Scholar Google su campo estándar de búsqueda. También se realizó una búsqueda en español con los términos (Sostenibilidad OR “desarrollo sostenible” OR sustentabilidad OR “desarrollo sustentable” AND Microbiología OR microorganismo OR microbiano OR bacteria OR hongo OR microalga).

La búsqueda se refinó utilizando los siguientes criterios de inclusión: 1) artículos resultantes al utilizar los mismos términos de búsqueda, pero en los campos ‘abstract/title/keyword’ en Science Direct; ‘todos los índices’, en Scielo; y ‘título del artículo’ en Scholar google; 2) artículos publicados entre el período 2005-2012; 3) artículos originales; y 4) artículos publicados en inglés y en español. Para escoger este intervalo de tiempo se tomó como referencia el año 2005 porque a partir de este, según Scopus, empieza un crecimiento atípico en el número de publicaciones en sostenibilidad. Se tomó un intervalo de siete años dada la capacidad logística del equipo de trabajo.

Después se excluyeron algunos artículos utilizando los siguientes criterios: 1) artículos que no cumplieran con la estructura de artículo de investigación –introducción, métodos, resultados y discusión–; y 2) artículos que no correspondieran a investigaciones en microbiología relacionadas con un problema de insostenibilidad. Para aplicar este criterio se excluyeron investigaciones que no involucraran al menos un proceso microbiano y un problema o proceso socio-ecológico.

### B. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

#### Recolección de la información

Los artículos fueron exportados al administrador de referencias EndNoteWeb, de libre acceso en internet, donde fueron eliminados los duplicados. La ejecución de todo el protocolo se llevó a cabo por dos revisores de manera independiente y un tercero experto para resolver desacuerdos.

De cada artículo se revisaron las secciones de ‘resumen, introducción y materiales y métodos’. Para recolectar información de los estudios, en una base de datos en Excel se consignó la siguiente información:

autor, país, año, revista, área temática, proceso socio-ecológico, procesos microbianos y problema de insostenibilidad.

**Análisis de la información**

La descripción de las características de las investigaciones se realizó mediante una síntesis cualitativa de las variables y análisis de frecuencias absolutas. Particularmente, las variables ‘país’ y ‘área temática’ se sintetizaron por regiones y áreas temáticas, respectivamente. Los procesos microbianos, los procesos socio-ecológicos, y los problemas de insostenibilidad también se sintetizaron y luego se hizo el análisis de

frecuencias de estas variables en Excel e IBM SPSS Statistics 21.

**RESULTADOS**

Luego de aplicar los criterios de inclusión y de exclusión, se obtuvo un total 79 artículos ([Anexo 1](#)). La [tabla 1](#) presenta los resultados de la búsqueda de los artículos y describe las frecuencias encontradas según la base de datos utilizada y la aplicación del protocolo de búsqueda y selección de los artículos.

**Tabla 1.** Selección de los estudios

Criterios	SCienceDirect		Scielo		Scholar Google		Total
	Inglés	Español	Inglés	Español	Inglés	Español	
Todos los campos	22730	136	65	148	530000	7.330	560409
Título, Resumen, Palabras Claves	390	0	65*	148*	80**	0**	683
Entre años 2005-2012	234	0	41	124	46	0	445
Artículos de revistas	224	0	39	112	31	0	406
Inglés y/o español	223	0	25	107	25	0	380
No tienen estructura de artículo de investigación	78	0	10	1	5	0	94
No son investigaciones en microbiología relacionadas con problemas de insostenibilidad	66	0	9	1	3	0	<b>79</b>

\*SCielo no ofrece el campo de búsqueda “Título/Resumen/Palabra Clave”. Por eso se conservó el número de artículos. \*\* Scholar Google no ofrece el campo de búsqueda “Título/Resumen/Palabra Clave”. Se utilizó el campo “título del artículo”.

**A. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS INVESTIGACIONES: COMPORTAMIENTO POR REGIÓN Y AÑO**

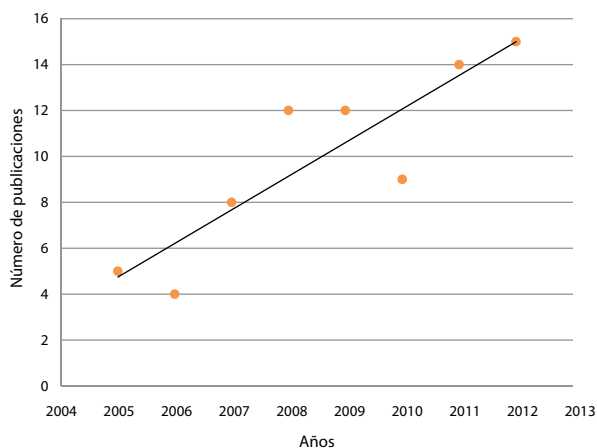
La región en la que más se identificaron publicaciones fue Europa Occidental con 23 artículos. Aquí se incluyen países como Italia, España, Bélgica, Países Bajos, Reino Unido, Francia, Suiza, Alemania, Irlanda y Grecia. El segundo grupo corresponde a Latinoa-

mérica, en la que se encontraron investigaciones de países como Brasil, Argentina, Chile, Colombia, México y Venezuela. India y china son países con una alta producción, razón por la que no se agruparon con otros países. La [tabla 2](#) muestra las cifras por regiones de investigaciones de microbiología relacionadas con problemas de insostenibilidad.

**Tabla 2.** Investigaciones por región

Región	Número de artículos	%
Europa Occidental	23	29,1
Latinoamérica	20	25,3
India	11	13,9
China	8	10,1
Norteamérica	5	6,3
Oceanía	5	6,3
Asia (excluyendo China e India)	4	5,1
África	3	3,8
Total	79	100

Por otra parte, el número de investigaciones publicadas tiende a aumentar a través de los años. Este aumento sucede a razón de 1,5 publicaciones por año aproximadamente, lo cual se ve reflejado en un incremento exponencial en la tendencia anual acumulada (Figura. 1).

**Figura 1.** Comportamiento del número de publicaciones en el tiempo

## B. TEMAS, PROCESOS MICROBIANOS Y PROCESOS SOCIO-ECOLÓGICOS

Entre los temas abordados por las investigaciones en microbiología que estudian problemas de insostenibilidad se pueden mencionar la calidad en suelos de cultivo, la producción de biofertilizantes, alimentos y piensos; así como la acuicultura, la biorremediación y la producción de biocombustibles y biopolímeros (Tabla 3).

Los procesos socio-ecológicos son las actividades humanas a través de las cuales los grupos humanos y los sistemas naturales se relacionan. Entre los procesos socio-ecológicos que fueron objeto de interés en estas investigaciones se pueden destacar las prácticas de manejo de cultivos, el uso y producción de biofertilizantes, la producción de biocombustibles, la

biorremediación y la silvicultura, entre otras descritas en la tabla 3.

Por su parte, los procesos microbianos se identificaron mediante la revisión de la función que cumplen los microorganismos o sus procesos en las investigaciones analizadas. Así, un proceso como el reciclaje de nutrientes fue el proceso microbiológico de interés de la mayoría de las investigaciones (79,8%). En menores proporciones las investigaciones se concentraron sobre otros procesos microbianos como la producción de lípidos e hidrógeno, la degradación de compuestos tóxicos y la acumulación de biopolímeros, entre otros (Tabla 3).

**Tabla 3.** Procesos socio-ecológicos, áreas temáticas y procesos microbianos de interés de las investigaciones.

Procesos socio ecológicos	n	%	Área temática	n	%	Proceso microbiano	n	%
Prácticas de manejos de cultivos	37	46,8	Evaluación de calidad en suelos de cultivo	47	59,5	Reciclaje de nutrientes	63	79,8
Uso y/o producción de Biofertilizantes	13	16,5	Producción de Biofertilizantes	10	12,7	Producción de lípidos	5	6,33
Producción de biocombustibles	8	10,1	Producción de Biocombustibles	9	11,4	Producción de H <sub>2</sub>	3	3,8
Biorremediación	6	7,59	Biorremediación	5	6,33	Degradación de compuestos tóxicos	3	3,8
Silvicultura	5	6,33	Acuicultura	2	2,53	Acumulación de biopolímeros	2	2,53
Manejo de suelos no cultivables	2	2,53	Alimentos, Piensos	2	2,53	Infección humana	1	1,27
Piscicultura	2	2,53	Otros	3	3,8	Desalinización	1	1,27
Producción de biomateriales	2	2,53						
Tratamiento de aguas residuales	2	2,53						
Alimentación animal	1	1,27	Producción de Biopolímeros	1	1,27	No se reconoce	1	1,27
Utilización del agua para generación de electricidad	1	1,27						
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>100</b>

### C. PROBLEMAS DE INSOSTENIBILIDAD

Los problemas de insostenibilidad de mayor interés en la investigación en microbiología son la degradación y agotamiento de los suelos cultivables y el agotamiento de las fuentes de energía, seguido de otros problemas como la deforestación, la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos para usos diferentes al agrícola (Tabla 4).

**Tabla 4.** Problemas de insostenibilidad que abordan las investigaciones en microbiología

Problema de insostenibilidad	Número de artículos	%
Degradación y agotamiento de tierras cultivables	52	65,8
Agotamiento de fuentes de energía	9	11,4
Deforestación	5	6,3
Contaminación de aguas	5	6,3
Erosión de suelos de uso no agrícola	4	5,1
Contaminación por compuestos no biodegradables	2	2,5
Inseguridad alimentaria	1	1,3
Agotamiento de fuentes de agua	1	1,3
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>100</b>

## DISCUSIÓN

### A. COMPORTAMIENTO GEOGRÁFICO Y TEMPORAL DE LAS INVESTIGACIONES

En lo concerniente al comportamiento geográfico y temporal de las investigaciones en microbiología que estudian problemas de insostenibilidad, se puede decir que es similar al comportamiento de las investigaciones en sostenibilidad en general. Particularmente, los hallazgos de esta revisión fueron consistentes con los resultados obtenidos por Kajikawa et al.<sup>7,8</sup> y Bettencourt y Kaur<sup>9</sup> sobre la investigación en sostenibilidad en el mundo.

A partir de esta revisión se pueden destacar las regiones de Europa Occidental, Latinoamérica, India y China como las que más producen publicaciones. Kajikawa et al.<sup>7</sup> también encontraron que las regiones de mayor producción científica en sostenibilidad son los países de Europa Occidental, y también se destacan países como India, China y Brasil. No obstante, cabe señalar que en el trabajo de Kajikawa también se destaca Estados Unidos como uno de los países que más producción científica tiene en este tema.

Así mismo, con respecto al comportamiento del número de publicaciones a través del tiempo, esta revisión encontró que entre los años 2005 y 2012 hubo una tendencia al aumento. Esta tendencia creciente en

el número de publicaciones en sostenibilidad también ha sido demostrada por otros estudios.<sup>7-9</sup>

## **B. PROBLEMAS DE INSOSTENIBILIDAD, PROCESOS SOCIO-ECOLÓGICOS Y PROCESOS MICROBIANOS**

En términos generales los resultados permiten señalar que hay dos problemas de insostenibilidad que tienden a captar la atención de la mayoría de las investigaciones en microbiología: la degradación y agotamiento de suelos cultivables, y el agotamiento de fuentes de energía. Esto significa que, en el contexto de los problemas de insostenibilidad, las áreas de la microbiología que parecen tener o requerir más desarrollo son la microbiología en el ámbito agrícola y pecuario, y la microbiología en el ámbito industrial para la producción de energías alternativas.

*—La agricultura y la degradación y agotamiento de suelos cultivables*

Las áreas temáticas encontradas en esta revisión también son similares a las halladas por Kajikawa et al.<sup>7</sup> en la investigación en sostenibilidad en general. Por ejemplo, el alto porcentaje encontrado de investigaciones (72,2%) en áreas como ‘calidad de los suelos para cultivo’ y ‘producción de biofertilizantes’, sugiere que la agricultura es el principal campo de estudio de las investigaciones en microbiología relacionadas con problemas de insostenibilidad. En el caso de Kajikawa y colaboradores, ellos también identificaron la agricultura como uno de los campos de estudio en los que se han venido desarrollando las investigaciones en sostenibilidad en general.

Los resultados sobre las áreas temáticas también son coherentes con los resultados obtenidos en esta. Por ejemplo, la degradación y el agotamiento de los suelos para cultivo es el problema de insostenibilidad al que pueden adscribirse la mayoría de las investigaciones revisadas. Bajo esta perspectiva, es lógico haber encontrado que los procesos socio-ecológicos que más sobresalieron sean las prácticas de manejo de cultivos y el uso y producción de biofertilizantes. Ello a su vez es consistente con el proceso microbiológico que más se identificó (79,8%) en los artículos: el reciclaje de nutrientes.

*—El desarrollo de energías y el agotamiento de fuentes energéticas*

El área temática de desarrollo de energías es el segundo que más sobresale dentro de las investigacio-

nes en microbiología relacionadas con problemas de insostenibilidad. En los trabajos de Kajikawa y colaboradores,<sup>7,8</sup> esta área temática sobresale como uno de las más destacables en la investigación en sostenibilidad.

Este resultado es a su vez consistente con los problemas de insostenibilidad y los procesos socio-ecológicos y microbianos identificados en esta revisión. Por ejemplo, el agotamiento de fuentes energéticas es el segundo (11,4%) problema de insostenibilidad identificado más frecuente en las investigaciones. Por esa razón, también es lógico haber encontrado que la producción de biocombustibles es el tercer proceso socio-ecológico más frecuente (10,1%) identificado en las investigaciones. Así mismo, dentro de este ámbito los procesos microbianos identificados con más frecuencia —después del reciclaje de nutrientes— son la producción de lípidos y de hidrógeno, lo cual es consistente con el área temática de producción de biocombustibles.

*—Otras áreas y problemas de insostenibilidad*

En la investigación en sostenibilidad existen otros núcleos temáticos como transporte y sistemas urbanos, agua, salud, pesca y silvicultura<sup>8</sup> que no se identificaron o fueron escasos. Ello podría explicarse por dos razones: primero, el estudio de los microbios y sus procesos no es usual cuando se estudian sistemas urbanos, y su conexión podría ser indirecta, a través de otros temas como el desarrollo o deterioro de materiales de construcción; el segundo, en el caso de áreas relacionadas con agua, salud, pesca y silvicultura posiblemente existen muchas investigaciones, pero en las que los autores no necesariamente pretenden relacionarla con problemas de insostenibilidad. Por esa razón no podían incluirse en esta revisión.

## **C. ALGUNAS IMPLICACIONES PARA LA FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN MICROBIOLOGÍA**

Los problemas de insostenibilidad son diversos, son objeto de interés de diferentes disciplinas, y no todos ellos requieren de las contribuciones de la microbiología. Los problemas de insostenibilidad pueden estar relacionados con temas tan disímiles como la sostenibilidad corporativa, los sistemas alimentarios locales y el desarrollo de bioenergía.

Por esa razón, ante la pregunta sobre cuáles temas pueden constituir ejes problemáticos para la

formación de microbiólogos hacia la sostenibilidad, en esta revisión se brindan dos posibles respuestas: i) la agricultura y el problema de degradación de suelos cultivables; y ii) el agotamiento de fuentes de energía y la búsqueda de alternativas energéticas (Figura 2).

Cada eje problemático representa un problema de insostenibilidad en diferentes niveles de complejidad. Es decir, si complejidad es el grado de integración de realidades de diferente naturaleza,<sup>10</sup> y en los problemas de insostenibilidad aquí referidos se integran elementos de carácter físico, biológico y socio-antropológico y ecológico, se puede decir que estos son problemas complejos. Estos niveles de complejidad integran los procesos microbianos a las actividades humanas, y estas a su vez a los problemas de insostenibilidad.

Esto significa que los procesos de formación requieren al menos tres niveles de comprensión de estos problemas por parte de estudiantes e investigadores. El primero corresponde al nivel microbiológico, donde los conceptos que orientan la formación del estudiante son los que provee directamente la mi-

crobiología; conceptos como reciclaje de nutrientes y producción de lípidos a partir de microorganismos son un ejemplo.

Un segundo nivel, es el de la acción humana. Este requiere del uso de conceptos de otras disciplinas para que los estudiantes comprendan los sistemas de actividades humanas en los que se insertan los procesos microbianos. Este corresponde a un nivel de comprensión mayor en tanto implica para el estudiante comprender los procedimientos que le dan sentido al estudio de los procesos microbianos. En este caso, si los estudiantes comprenden prácticas de manejo de cultivos y procesos de uso y producción de fertilizantes, tendrá más herramientas para hacer un mejor estudio y utilización de los procesos microbianos. Igual sucede en el caso de los biocombustibles; la utilización de microbios para producir lípidos e hidrógeno adquiere sentido cuando comprende las dinámicas, necesidad, organización e importancia de los procesos de producción de biocombustibles.

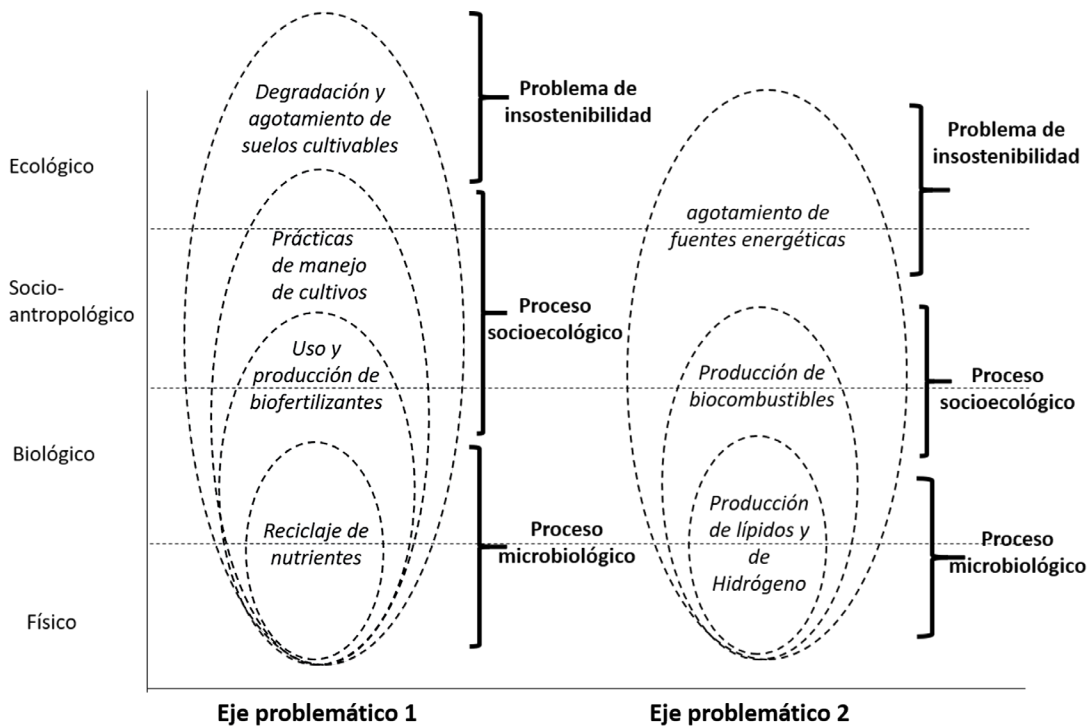


Figura 2. Ejes problemáticos de la microbiología en un contexto de insostenibilidad



El tercer nivel incluye la comprensión de la amplia gama de actividades humanas y disciplinas que pueden estar relacionadas con el problema de insostenibilidad. Implica, por tanto, comprender el carácter sistémico de problemas como la degradación de suelos, el agotamiento de tierras cultivables y el agotamiento de fuentes de energía y, por consiguiente, su origen en procesos culturales, sociales, económicos, políticos y ecológicos de las sociedades. Estos niveles de comprensión son similares a los niveles de análisis, según niveles de realidad, que Max-Neef<sup>11</sup> explica dentro de los fundamentos de la transdisciplinariedad.

En términos de investigación, el estudio de estos problemas implicaría, además del abordaje de los conceptos mencionados, la descripción de los sistemas sociales y ecológicos en los que se encuentran inmersos los microorganismos y sus procesos; así como una adecuada comprensión del origen de los problemas de insostenibilidad, de tal manera que las contribuciones de la microbiología tengan posibilidades reales de tener algún efecto sobre el problema.

## CONCLUSIONES

Los problemas de insostenibilidad que están siendo objeto de interés de la microbiología son la agricultura y la degradación de suelos cultivables, así como el agotamiento de fuentes de energía y la búsqueda de alternativas energéticas. A la luz de estos problemas, los procesos microbianos que parecen tener mayor interés son los de reciclaje de nutrientes y los de producción de lípidos o de hidrógeno, respectivamente.

Lo anterior implica que el desarrollo de procesos de formación e investigación en microbiología, orientados hacia la sostenibilidad, requiere el desarrollo de tres niveles de comprensión: el microbiano, el de la acción humana y el correspondiente al problema de insostenibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos el apoyo del Fondo de Primer Proyecto de la Universidad de Antioquia.

## REFERENCIAS

1. **Clark W, Dickson N.** Sustainability science: the emerging research program. *PNAS*. 2003;100(14):8059-8061.
2. **Kates R, Clark W, Corell R, Hall J, Jaeger C, Lowe I, et al.** Sustainability Science. *Science*. 2001;292(5517):641-642.
3. **Kajikawa Y.** Research core and framework of sustainability science. *Sustainability Science*. 2008;3(2):215-239.
4. **O'Malley M.** *Philosophy of Microbiology*. United Kingdom: Cambridge; 2014
5. **Blanch i Gisbert A.** *Biología Ambiental. Aplicaciones biotecnológicas a la mejora del medio ambiente*. Nota d'Economia. 2010;(97-98):179-194.
6. **Cardona-Arias JA, Higuera-Gutiérrez F, Ríos-Osorio LA.** *Revisión sistemática de la literatura científica*. Medellín: Universidad Cooperativa de Colombia; 2015
7. **Kajikawa Y, Ohno J, Takeda Y, Matsushima K, Komiya H.** (2007). Creating an academic landscape of sustainability science: an analysis of the citation network. *Sustainability Science*. 2007;2:221-231.
8. **Kajikawa Y, Tanco F, Yamaguchi K.** Sustainability science: the changing landscape of sustainability research. *Sustainability Science*. 2014;9:431-438.
9. **Bettencourt L, Kaur J.** Evolution and structure of sustainability science. *PNAS*. 2011;108(49):19540-19545.
10. **Morín E.** *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa; 1997.
11. **Max-Neef M.** Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics*. 2005;53, 5-16.

## ANEXO 1. ESTUDIOS ANALIZADOS

1. **Acosta Olaya, G. E., & Ramírez Pisco, R.** (2010). Evaluación de los cambios en algunas propiedades físicas y químicas de un ultisol por efecto del *Bacillus subtilis*. *Revista colombiana de biotecnología*, 203-213.
2. **Adam, F., Abert-Vian, M., Peltier, G., & Chemat, F.** (2012). "Solvent-free" ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process. *Bioresource Technology*, 114, 457-465, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.096>.
3. **Althoff, P. S., & Thien, S. J.** (2005). Impact of M1A1 main battle tank disturbance on soil quality, invertebrates, and vegetation characteristics. *Journal of Terra-mechanics*, 42, 159-176, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.014>.
4. **Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J. L., & Borie, F.** (2005). Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile.

- Soil and Tillage Research*, 82, 195-202, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.06.002.
5. **Aniszewski, E., Peixoto, R. S., Mota, F. F., Leite, S. G. F., & Rosado, A. S.** (2009). Bioemulsifier production by Microbacterium sp. strains isolated from mangrove and their application to remove cadmium and zinc from hazardous industrial residue. *Braz. J. Microbiol.*, 235-245.
  6. **Araújo, A. S. F., Santos, V. B., & Monteiro, R. T. R.** (2008). Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 44, 225-230, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.06.001.
  7. **Balota, E. L., & Chaves, J. C. D.** (2010). Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1573-1583.
  8. **Bhattacharyya, R., Kundu, S., Prakash, V., & Gupta, H. S.** (2008). Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas. *European Journal of Agronomy*, 28, 33-46, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2007.04.006.
  9. **Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., et al.** (2008). Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2297-2308, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.007.
  10. **Bonanomi, G., D'Ascoli, R., Antignani, V., Capodilupo, M., Cozzolino, L., Marzaioli, R., et al.** (2011). Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy. *Applied Soil Ecology*, 47, 184-194, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.12.007.
  11. **Chen, B.-Y., Shiau, T.-J., Wei, Y.-H., Chen, W.-M., Yu, B.-H., Yen, C.-Y., et al.** (2012). Feasibility study of polyhydroxyalkanoate production for materials recycling using naturally occurring pollutant degraders. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43, 455-458, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2011.08.005.
  12. **Cruz, R. V. A. d., & Nascimento, C. A. O. d.** (2012). Energy analysis of oil production from microalgae. *Biomass and Bioenergy*, 47, 418-425, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.016.
  13. **de Vries, F. T., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L., & Bloem, J.** (2006). Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2092-2103, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.008.
  14. **Delrue, F., Setier, P. A., Sahut, C., Cournac, L., Roubaud, A., Peltier, G., et al.** (2012). An economic, sustainability, and energetic model of biodiesel production from microalgae. *Bioresource Technology*, 111, 191-200.
  15. **Djajadi, Abbott, L. K., & Hinz, C.** (2012). Synergistic impacts of clay and organic matter on structural and biological properties of a sandy soil. *Geoderma*, 183-184, 19-24, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.012.
  16. **Effron, D. N., Sarti, G. C., Quinteros, M. C., & Catán, S. I.** (2011). Influencia de Especies Arbóreas Implantadas sobre Parámetros Biológicos y Bioquímicos en un Suelo Forestal de Chubut, Argentina. *Información tecnológica*, 23(2), 87-92.
  17. **Ferreira, E. P. d. B., Wendland, A., & Didonet, A. D.** (2011). Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. *Bragantia*, 70(4), 899-907.
  18. **Fiori, L., Valbusa, M., & Castello, D.** (2012). Supercritical water gasification of biomass for H<sub>2</sub> production: Process design. *Bioresource Technology*, 121(0), 139-147, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.116.
  19. **Frey, B., Kremer, J., Rüdte, A., Sciacca, S., Matthies, D., & Lüscher, P.** (2009). Compaction of forest soils with heavy logging machinery affects soil bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 45, 312-320, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.05.006.
  20. **Ghosh, S., Wilson, B., Ghoshal, S., Senapati, N., & Mandal, B.** (2012). Organic amendments influence soil quality and carbon sequestration in the Indo-Gangetic plains of India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 156, 134-141, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.009.
  21. **Govaerts, B., Mezzalama, M., Sayre, K. D., Crossa, J., Lichter, K., Troch, V., et al.** (2008). Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on selected soil micro-flora groups in the subtropical highlands. *Applied Soil Ecology*, 38, 197-210, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.10.009.
  22. **Govaerts, B., Mezzalama, M., Unno, Y., Sayre, K. D., Luna-Guido, M., Vanherck, K., et al.** (2007). Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, 37, 18-30, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.03.006.
  23. **Hartley, W., Uffindell, L., Plumb, A., Rawlinson, H. A., Putwain, P., & Dickinson, N. M.** (2008). Assessing biological indicators for remediated anthropogenic urban soils. *Science of The Total Environment*, 405, 358-369, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.004.
  24. **Hati, K. M., Biswas, A. K., Bandyopadhyay, K. K., & Misra, A. K.** (2007). Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. *Soil and Tillage Research*, 92, 60-68, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.01.011.

25. Hawley, G. L., Taylor, A. F. S., & Dames, J. F. (2008). Ectomycorrhizas in association with *Pinus patula* in Sabie, South Africa. *S. Afr. j. sci.*, 273-283.
26. Helgason, B. L., Walley, F. L., & Germida, J. J. (2010). Long-term no-till management affects microbial biomass but not community composition in Canadian prairie agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 2192-2202, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.015.
27. Hernández-Hernández, R. M., Ramírez, E., Castro, I., & Cano, S. (2007). Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia*, 253-266.
28. Hungria, M., Franchini, J. C., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G., & Souza, R. A. (2009). Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*, 42, 288-296.
29. Karrasch, B., Woelfl, S., Urrutia, R., González, J., Valdovinos, C., Cid, H., et al. (2011). Ecomicrobiology and microbial assimilative capacity of the oligotrophic Andean Lake Laja, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 84(3), 433-450.
30. Kaschuk, G., Hungria, M., Andrade, D. S., & Campo, R. J. (2006). Genetic diversity of rhizobia associated with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under no-tillage and conventional systems in Southern Brazil. *Applied Soil Ecology*, 32, 210-220, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.06.008.
31. Lear, G., Harbottle, M. J., Sills, G., Knowles, C. J., Semple, K. T., & Thompson, I. P. (2007). Impact of electrokinetic remediation on microbial communities within PCP contaminated soil. *Environmental Pollution*, 146, 139-146, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.037.
32. Lenzemo, V. W., Kuyper, T. W., Kropff, M. J., & van Ast, A. (2005). Field inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi reduces *Striga hermonthica* performance on cereal crops and has the potential to contribute to integrated *Striga* management. *Field Crops Research*, 91, 51-61, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.003.
33. Li, J., Zhao, B.-q., Li, X.-y., Jiang, R.-b., & Bing, S. H. (2008). Effects of Long-Term Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on Microbial Biomass, Soil Enzyme Activities and Soil Fertility. *Agricultural Sciences in China*, 7, 336-343, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60074-7.
34. Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., et al. (2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 42, 166-175, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006.
35. López-Garrido, R., Deurer, M., Madejón, E., Murillo, J. M., & Moreno, F. (2012). Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. *Soil and Tillage Research*, 118, 52-60, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.10.013.
36. Macdonald, C. A., Thomas, N., Robinson, L., Tate, K. R., Ross, D. J., Dando, J., et al. (2009). Physiological, biochemical and molecular responses of the soil microbial community after afforestation of pastures with *Pinus radiata*. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1642-1651, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.05.003.
37. Manna, M. C., Swarup, A., Wanjari, R. H., Ravankar, H. N., Mishra, B., Saha, M. N., et al. (2005). Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crops Research*, 93, 264-280, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.10.006.
38. Meriles, J. M., Vargas Gil, S., Conforto, C., Figoni, G., Lovera, E., March, G. J., et al. (2009). Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil and Tillage Research*, 103, 271-281, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.008.
39. Mohanakrishna, G., Venkata Mohan, S., & Sarma, P. N. (2010). Utilizing acid-rich effluents of fermentative hydrogen production process as substrate for harnessing bioelectricity: An integrative approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 3440-3449, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.01.084.
40. Montecchia, M. S., Correa, O. S., Soria, M. A., Frey, S. D., García, A. F., & Garland, J. L. (2011). Multivariate approach to characterizing soil microbial communities in pristine and agricultural sites in Northwest Argentina. *Applied Soil Ecology*, 47, 176-183, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.12.008.
41. Moscatelli, M. C., Lagomarsino, A., De Angelis, P., & Grego, S. (2008). Short- and medium-term contrasting effects of nitrogen fertilization on C and N cycling in a poplar plantation soil. *Forest Ecology and Management*, 255, 447-454, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.012.
42. Naiman, A. D., Latrónico, A., & García de Salamone, I. E. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, 45, 44-51, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.001.
43. Nakamoto, T., Yamagishi, J., & Miura, F. (2006). Effect of reduced tillage on weeds and soil organisms

- in winter wheat and summer maize cropping on Humic Andosols in Central Japan. *Soil and Tillage Research*, 85, 94-106, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.12.004.
44. **Nayak, A. K., Gangwar, B., Shukla, A. K., Mazumdar, S. P., Kumar, A., Raja, R., et al.** (2012). Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India. *Field Crops Research*, 127, 129-139, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.011.
  45. **Patel, S. K. S., Singh, M., Kumar, P., Purohit, H. J., & Kalia, V. C.** (2012). Exploitation of defined bacterial cultures for production of hydrogen and polyhydroxybutyrate from pea-shells. *Biomass and Bioenergy*, 36, 218-225, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.027.
  46. **Pellegrino, E., Di Bene, C., Tozzini, C., & Bonari, E.** (2011). Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140, 245-254, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.011.
  47. **Pomar, C., Dubeau, F., Létourneau-Montminy, M. P., Boucher, C., & Julien, P. O.** (2007). Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livestock Science*, 111, 16-27, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2006.11.011.
  48. **Rahman, M. H., Okubo, A., Sugiyama, S., & Mayland, H. F.** (2008). Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil and Tillage Research*, 101, 10-19, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006.
  49. **Reeve, J. R., Carpenter-Boggs, L., & Sehmsdorf, H.** (2011). Sustainable agriculture: A case study of a small Lopez Island farm. *Agricultural Systems*, 104, 572-579, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2011.04.006.
  50. **Rivera-Cruz, M. d. C., Rivón-Hernández, P., & Trujillo-Narcía, A.** (2011). Organic supports of bacteria promoting plant growth and soil sustainability. *Terra Latinoamericana*, 29, 179-188.
  51. **Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., & Caravaca, F.** (2007). Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil and Tillage Research*, 93, 273-282, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.05.001.
  52. **Romero, E., Fernández-Bayo, J., Díaz, J. M. C., & Nogales, R.** (2010). Enzyme activities and diuron persistence in soil amended with vermicompost derived from spent grape marc and treated with urea. *Applied Soil Ecology*, 44, 198-204, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.12.006.
  53. **Salazar, S., Sánchez, L. E., Alvarez, J., Valverde, A., Galindo, P., Igual, J. M., et al.** (2011). Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. *Ecological Engineering*, 37, 1123-1131, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoeng.2011.02.007.
  54. **Sant'Anna, S. A. C., Fernandes, M. F., Ivo, W. M. P. M., & Costa, J. L. S.** (2009). Evaluation of Soil Quality Indicators in Sugarcane Management in Sandy Loam Soil. *Pedosphere*, 19, 312-322, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60122-3.
  55. **Santana, A., Jesus, S., Larrayoz, M. A., & Filho, R. M.** (2012). Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Algal Lipids for the Biodiesel Production. *Procedia Engineering*, 42, 1755-1761, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.569.
  56. **Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J.** (2006). Molasses as C source for heterotrophic bacteria production on solid fish waste. *Aquaculture*, 261, 1239-1248, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.053.
  57. **Sharma, D. K., Pandey, A. K., & Lata** (2009). Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. *Biomass and Bioenergy*, 33, 159-162, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.05.002.
  58. **Sharma, K. L., Mandal, U. K., Srinivas, K., Vittal, K. P. R., Mandal, B., Grace, J. K., et al.** (2005). Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil and Tillage Research*, 83, 246-259, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.002.
  59. **Sharma, S., & Adholeya, A.** (2011). Detoxification and accumulation of chromium from tannery effluent and spent chrome effluent by *Paecilomyces lilacinus* fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65, 309-317, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.12.003.
  60. **Sharma, Y., & Li, B.** (2009). Optimizing hydrogen production from organic wastewater treatment in batch reactors through experimental and kinetic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(15), 6171-6180, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.06.031.
  61. **Singh, M., Pabbi, S., Bhattacharya, A. K., & Singh, A. K.** (2007). Nitrite accumulation in coastal clay soil of India under inadequate subsurface drainage. *Agricultural Water Management*, 91, 78-85, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2007.04.010.
  62. **Sommer, R., Ryan, J., Masri, S., Singh, M., & Diekmann, J.** (2011). Effect of shallow tillage, moldboard plowing, straw management and compost addition on soil organic matter and nitrogen in a dryland barley/wheat-vetch rotation. *Soil and Tillage Research*, 115-116, 39-46, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.06.003.
  63. **Stark, C., Condrón, L. M., Stewart, A., Di, H. J., & O'Callaghan, M.** (2007). Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and pro-

- cesses. *Applied Soil Ecology*, 35, 79-93, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.05.001.
64. **Stellacci, P., Liberti, L., Notarnicola, M., & Haas, C. N.** (2010). Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants: A case study. II. Estimating airborne biological hazard. *Desalination*, 253, 106-111, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2009.11.024.
65. **Tan, J.-l., & Kang, Y.-h.** (2009). Changes in Soil Properties Under the Influences of Cropping and Drip Irrigation During the Reclamation of Severe Salt-Affected Soils. *Agricultural Sciences in China*, 8, 1228-1237, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60333-8.
66. **Valigore, J. M., Gostomski, P. A., Wareham, D. G., & O'Sullivan, A. D.** (2012). Effects of hydraulic and solids retention times on productivity and settleability of microbial (microalgal-bacterial) biomass grown on primary treated wastewater as a biofuel feedstock. *Water Research*, 46, 2957-2964, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.023.
67. **Vallejo, V. E., Gómez, M. M., Cubillos, A. M., & Roldán, F.** (2011). Effect of land use on the density of nitrifying and denitrifying bacteria in the Colombian Coffee Region. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 455-464.
68. **Vargas Gil, S., Meriles, J., Conforto, C., Basanta, M., Radl, V., Hagn, A., et al.** (2011). Response of soil microbial communities to different management practices in surface soils of a soybean agroecosystem in Argentina. *European Journal of Soil Biology*, 47, 55-60, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.11.006.
69. **Vavias, S., Alexopoulos, A., Plessas, S., Stefanis, C., Voidarou, C., Stavropoulou, E., et al.** (2011). Microbial ecology of the watery ecosystems of Evros river in North Eastern Greece and its influence upon the cultivated soil ecosystem. *Anaerobe*, 17, 325-329, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.anaerobe.2011.05.005.
70. **Vezzulli, L., Moreno, M., Marin, V., Pezzati, E., Bartoli, M., & Fabiano, M.** (2008). Organic waste impact of capture-based Atlantic bluefin tuna aquaculture at an exposed site in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 369-384, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.01.002.
71. **Viteri, S. E., Granados, M., & González, A. R.** (2008). Potencial de los caldos rizósfera y súper cuatro como biofertilizantes para la sostenibilidad del cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa*). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 517-524.
72. **Wakelin, S. A., Gregg, A. L., Simpson, R. J., Li, G. D., Riley, I. T., & McKay, A. C.** (2009). Pasture management clearly affects soil microbial community structure and N-cycling bacteria. *Pedobiologia*, 52, 237-251, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2008.10.001.
73. **Wakelin, S. A., Gupta, V. V. S. R., & Forrester, S. T.** (2010). Regional and local factors affecting diversity, abundance and activity of free-living, N<sub>2</sub>-fixing bacteria in Australian agricultural soils. *Pedobiologia*, 53, 391-399, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.08.001.
74. **Wen, Q., Zhang, H., Chen, Z., Li, Y., Nan, J., & Feng, Y.** (2012). Using bacterial catalyst in the cathode of microbial desalination cell to improve wastewater treatment and desalination. *Bioresource Technology*, 125, 108-113, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.140.
75. **Wenhui, Z., Zucong, C., Lichu, Y., & He, Z.** (2007). Effects of the long-term application of inorganic fertilizers on microbial community diversity in rice-planting red soil as studied by using PCR-DGGE. *Acta Ecologica Sinica*, 27, 4011-4018, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2032(07)60084-5.
76. **Yadav, R. L., Suman, A., Prasad, S. R., & Prakash, O.** (2009). Effect of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Trichoderma viride* on soil health, yield and N-economy of sugarcane cultivation under subtropical climatic conditions of India. *European Journal of Agronomy*, 30, 296-303, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2009.01.002.
77. **Yang, L., Zhang, F., Gao, Q., Mao, R., & Liu, X.** (2010). Impact of land-use types on soil nitrogen net mineralization in the sandstorm and water source area of Beijing, China. *CATENA*, 82, 15-22, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2010.04.004.
78. **Zhang, B., He, H., Ding, X., Zhang, X., Zhang, X., Yang, X., et al.** (2012). Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays* L.) growing season under conventional- and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 124, 153-160, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.05.011.
79. **Zhou, L.-M., Jin, S.-L., Liu, C.-A., Xiong, Y.-C., Si, J.-T., Li, X.-G., et al.** (2012). Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem. *Field Crops Research*, 126, 181-188, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.10.010.