



RECURSOS

NATURALES Y SOCIEDAD

REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



La Investigación en Microbiología Ambiental en Baja California: Importancia y Usos

Alejandro López-Cortés^{*1}, Luz Estela de-Bashan²,
Macario Bacilio Jiménez² y Yoav Bashan²

Resumen

El presente artículo describe algunos aspectos biológicos, ecológicos y biotecnológicos de microorganismos de la Península de Baja California, con el propósito de difundir su uso e importancia y promover la protección de áreas naturales que poseen este patrimonio biológico. Especial énfasis es dado a los tapetes microbianos laminados, a las bacterias promotoras de crecimiento en plantas y su participación en la remediación de aguas residuales y de suelos contaminados. También se incluyen resultados de los beneficios de la composta como agente mejorador de suelos de ambientes desérticos.

Palabras clave: Microbiología, tapetes microbianos, ecología, biotecnología, PGPB, *Azospirillum*, *Chlorella*, biorremediación, composta, exudados radicales.

Abstract

This study describes some biological, ecological, and biotechnological aspects of the microorganisms of the Baja California Peninsula, with the purpose of spreading their use and importance to promote the protection of natural areas containing this biological patrimony. Particular emphasis is given to microbial mats, plant growth-promoting bacteria, and their participation in the remediation of waste water and polluted soils. The results of the benefits of compost as an improvement agent of desert environment soils are also included.

Key words: Microbiology, microbial mats, ecology, biotechnology, PGPB, *Azospirillum*, *Chlorella*, biorremediation, compost, root exudates.

Introducción

Hoy en día es innegable la importancia de los microorganismos en la naturaleza, en muchas de las cadenas productivas, en la salud de los humanos y de otros seres vivos. No obstante, solo conocemos una pequeña fracción, menos del 1% de todos los microorganismos que existen en nuestro entorno, debido a que durante muchos años, solo estudiamos aquellos recuperados en medios de cultivo. Las nuevas técnicas de la biología

¹ Laboratorio de Geomicrobiología y Biotecnología, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

² Laboratorio de Microbiología Ambiental, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

*E-mail: alopez04@cibnor.mx, Tel: 1238425 (oficina directo), 1238484 (3654 lab)



molecular aplicadas en microbiología, han permitido la detección de aquellos microorganismos, de los cuales desconocemos sus necesidades nutricionales. Esta realidad en conjunto con las características únicas de la Península de Baja California, como son sus condiciones extremas ambientales y la combinación de habitats desérticos y marinos ofrecen nuevas oportunidades de desarrollo e innovación científica y tecnológica.

Mundo Microbiano

La Microbiología es una disciplina científica que estudia a los microorganismos y sus interacciones con los humanos, animales, plantas y el ambiente. Los microorganismos son seres vivos muy pequeños que no son vistos a simple vista, estos seres vivos son estudiados por los microbiólogos con ayuda de microscopios y otros equipos científicos. Los microorganismos pueden ser virus, bacterias, arqueas y eucariontes como, levaduras, protozoarios y algas.

Pocos de ellos son patógenos (producen enfermedades o infecciones) y muchos más son amigos del hombre. Los microorganismos se encuentran en todas partes, en el aire que respiramos, en el suelo que pisamos, en el alimento, ¡están hasta en nuestro interior! e influyen sobre todos los seres vivos y participan en procesos químicos y físicos de nuestro planeta (Ramos et al., 2012).

Debido a la diversidad de esas actividades, la ciencia de la microbiología es multidisciplinaria y demanda habilidades manuales y conocimientos de especialidades en diferentes campos de las ciencias de la vida, ciencias ambientales e ingeniería.

Los microbiólogos trabajan en investigación básica y aplicada, clínica, manufactura de alimentos y otros bienes, salud pública, protección ambiental y otras áreas.

Microbiología en el CIBNOR

En el Programa de Planeación Ambiental y Conservación del CIBNOR, se ha trabajado por más de 28 años con microorganismos. Existe una línea estratégica denominada Microbiología Ambiental.

Una de las aproximaciones para comprender el papel de los microorganismos en el funcionamiento de los ecosistemas y sus aplicaciones para la generación de bienes y servicios es la Bio-exploración, involucra el estudio de la diversidad biológica para descubrir recursos biológicos con fines comerciales.

Ha sido nuestro interés estudiar la Ecología y las aplicaciones de los ecosistemas microbianos complejos, denominados tapetes microbianos.

Los tapetes microbianos y ambientes extremos

Los tapetes microbianos están formados por microorganismos, asociados a depósitos de materia orgánica y minerales, comúnmente organizados en capas o en láminas (en una escala de milímetros a centímetros) que hacen a tales entidades sistemas autosostenibles, por lo que se consideran un ecosistema completo (ver figura 1) (López-Cortés, 1998).

Los tapetes microbianos se han desarrollado en casi todos los ambientes, principalmente en lugares especiales donde la temperatura, desecación y/o salinidad son extremas, y actúan de tal manera que las plantas y animales

superiores son prácticamente excluidos. Es posible encontrar tapetes microbianos como los ecosistemas dominantes en masas de agua hipersalinas (con salinidades mayores a las del agua de mar), en manantiales hidrotermales, en desiertos templados desecados y en ambientes fríos y secos como los del Polo Sur (Antártida). ¡Los tapetes microbianos son los dominantes en los ambientes extremos! (López-Cortés, 1998; López-Cortés et al., 2001).

Los tapetes microbianos se desarrollan en planicies de inundación asociadas al mar de Laguna Ojo de Liebre, Laguna San Ignacio, San Carlos, manantiales hidrotermales de Santispac y otros sitios de Baja California Sur, México (ver figura 2) (López-Cortés, 1991; López-Cortés et al., 2001).



Figura 1

Estudiamos a los tapetes microbianos porque son la contraparte moderna de las rocas fósiles más antiguas encontrados en Australia, con edad de 3,500 millones de años, denominados estromatolitos. Además se ha postulado a las cianobacterias, que los constituyen, ser los responsables de la transformación y mantenimiento de la atmósfera actual que contiene 20% de oxígeno, gas vital que usamos para respirar. Por su alto grado de preservación de la laminación (9 cm), ellos nos ayuda a entender y reconstruir climas del pasado (100 años). También, los tapetes microbianos y estromatolitos pueden ser usados como indicadores en expediciones dirigidas a la búsqueda de vida en otros planetas del sistema solar (López-Cortés, 1998).

De hecho, en los tapetes microbianos se encuentran prácticamente todas las formas posibles que existen en la naturaleza para obtener energía, y todo esto, ¡dentro de unos cuantos milímetros! La capacidad de las comunidades microbianas de utilizar una gran cantidad de compuestos químicos (sustratos) para la obtención de energía ha despertado recientemente el interés de las industrias biotecnológicas (López-Cortés, 1998).

Así, los ecosistemas hipersalinos son de gran importancia, tanto científica como económica. Desde la perspectiva biológica, estos ambientes representan uno de los mejores modelos para comprender la evolución temprana de la vida en la Tierra y pueden llegar a ser altamente productivos, pero a la vez son vulnerables a la actividad humana (López-Cortés, 1998).



Figura 2

Aspectos económicos y aplicados de los tapetes microbianos

Desde el punto de vista económico, los ambientes extremos proporcionan numerosos elementos que son aprovechados en distintas ramas productivas. Por ejemplo, en la minería, los ambientes hipersalinos permiten la producción de sal y otros minerales que resultan de la evaporación del agua de mar donde los microorganismos tienen una participación fundamental, la cual tiene múltiples usos en la industria manufacturera. Para la agricultura, diversas especies de microorganismos nativos de ambientes extremos son empleadas como biofertilizantes por

su propiedad de fijar nitrógeno y generar materia orgánica y así mejorar suelos pobres en nutrientes (López-Cortés et al., 2001). Algunos microorganismos son empleados para la producción de biomasa y proteína como suplemento nutricional. En la industria química se emplean bioplásticos (López-Cortés et al., 2010), polisacáridos y pigmentos producidos por diferentes microorganismos (ver figura 3).

En el Estado de Baja California Sur existen grandes extensiones de ambientes hipersalinos, incluyendo Exportadora de Sal S. A., una de las salineras más importantes en el mundo, donde se han encontrado diferentes tipos de tapetes microbianos productores de biogás. El biogás es un combustible obtenido a partir de la degradación de la materia orgánica por microorganismos en ecosistemas naturales y ambientes creados por el hombre (basureros y biodigestores) que carecen de oxígeno, denominados ambientes anóxicos. El biogás es una mezcla de gases constituida principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno (H_2). El biogás puede ser utilizado en sistemas de combustión, como las estufas u hornos; pero también como combustible para generadores de energía eléctrica. La producción de biogás ha cobrado relevancia debido a que es un proceso ambientalmente amigable porque contribuye con la reducción de gases tóxicos tales como el monóxido de carbono y óxidos de azufre que resultan de la degradación de los combustibles fósiles (Ramos et al., 2012).

En conclusión, los tapetes microbianos de ambientes hipersalinos pueden ser considerados como una fuente alternativa para la generación de metano (ver figura 4), uno de los principales componentes del biogás, que puede ser utilizado para el abastecimiento de combustible en comunidades aisladas donde el acceso a los combustibles de origen fósil, no renovable, es complicado. Podemos concebir a las células microbianas del tapete como fábricas microscópicas, que proveen sistemas de energía sustentable que rescatarán a la sociedad, ante el inevitable agotamiento del petróleo. Finalmente, con este trabajo se pretende difundir el uso e importancia de los tapetes microbianos, ya que es un patrimonio biológico de mucho valor que se debe proteger y aprovechar.



Figura 3



Figura 4



Por todas estas razones invitamos a los pobladores del Estado de Baja California Sur y del mundo a proteger y cuidar dichos tapetes microbianos, los cuales solo se desarrollan en sitios especiales del Planeta. Por ello los habitantes del Estado de Baja California Sur, deben estar orgullosos por poseer dichas riquezas naturales muy abundantes en las planicies de inundación de Guerrero Negro, Laguna San Ignacio y Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

Usos de bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos ambientales.

Uno de los ejes de la Línea estratégica Microbiología Ambiental ha sido estudiar la contribución de bacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPB, por sus siglas en inglés) para solucionar problemas ambientales.

Si bien el uso de estas bacterias ha sido para fines agrícolas principalmente, consideramos que su potencial de uso en áreas diferentes a la agrícola es promisorio. Estas bacterias pueden ser utilizadas para aumentar el crecimiento de microalgas y para la eliminación de compuestos de nitrógeno y fosfatados de aguas residuales, además, pueden mejorar la reforestación de árboles de mangle mediante la colonización de las raíces y el mejoramiento del crecimiento de las semillas y pueden prevenir la erosión del suelo al mejorar las posibilidades de supervivencia de pequeñas plántulas de cactus, las cuales sirven como estabilizadores de suelo (de-Bashan et al. 2012). En esta sección, se describen estudios que el Grupo de Microbiología Ambiental ha realizado en este tema dentro de la Línea Estratégica VI de Microbiología Ambiental (periodo 2009-2015).

Biotratamiento y reuso de agua residual utilizando microalgas y PGPBs

La escasez de agua es un problema inherente en las regiones desérticas. El aumento de la población humana ha agudizado el problema, considerando que los acuíferos en zonas áridas son muy limitados. Por lo tanto, la reutilización del agua después de ser biotratada es una alternativa viable para solucionar este problema.

Los sistemas naturales con microalgas constituyen una buena alternativa a este respecto, pues sus bajos requerimientos energéticos y la simplicidad de su tecnología los hacen fácilmente adaptables a las condiciones de muchas regiones del país. Por otra parte, presentan la ventaja adicional de producir una biomasa rica en nutrientes que puede ser aprovechable económicamente. Sin embargo, los cultivos microalgales en suspensión presentan el problema de recuperar la biomasa producida una vez finalizado el tratamiento. Como manera de evitar este problema, se han diseñado sistemas que utilizan microalgas inmovilizadas en polímeros tales como alginato (ver figura 5).

Aunque la utilización de microalgas como *Chlorella vulgaris* inmovilizada en alginato ha sido documentada, nosotros hemos obtenido excelentes resultados con una nueva estrategia: co-inmovilizarla con la PGPB *Azospirillum brasilense*. Esta bacteria es conocida por sus efectos en el crecimiento de cultivos agrícolas (de-Bashan et al. 2015). Considerando que uno de los mecanismos más importantes que estas bacterias presentan para mejorar el crecimiento de plantas es la producción y liberación de compuestos como fitohormonas, y para asegurar que las sustancias secretadas por la bacteria alcanzarán y afectarán a la microalga, una solución práctica es inmovilizarlas juntas en algún polímero. La co-inmovilización permite también remover fácilmente los agentes de biotratamiento una vez que el proceso ha finalizado.

Según resultados presentados en de-Bashan et al. (2015), la inmovilización combinada de la microalga y la bacteria, aumenta significativamente la eliminación de amonio y fosfato de agua residual sintética, en comparación con la eliminación obtenida con la microalga sola. De manera similar, esta combinación ha mostrado reducir efectivamente la concentración de amonio y fosforo en aguas residuales municipales (de-Bashan et al. 2015).

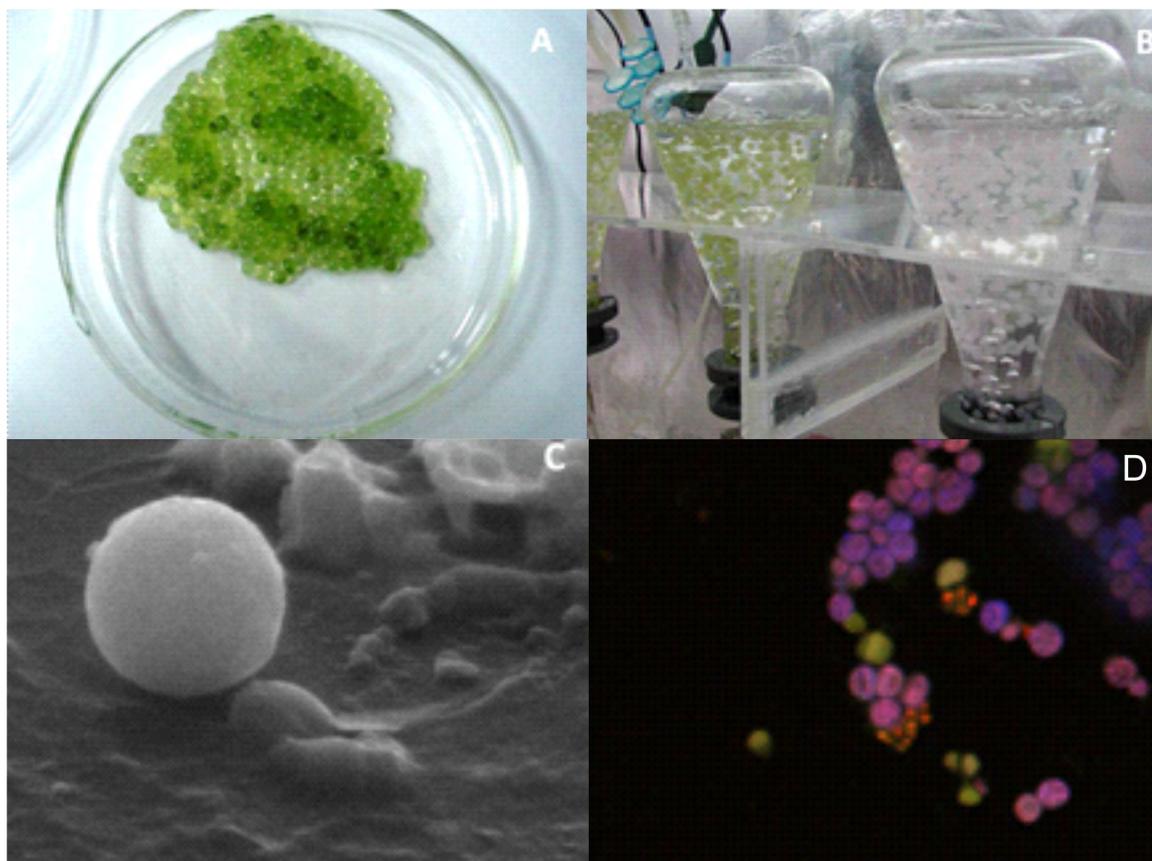


Figura 5

Continuando con el trabajo iniciado con agua residual sintética, Perez-Garcia et al. (2010), en de-Bashan et al. (2015) probaron la eficiencia de crecimiento, eliminación de nitrógeno, fosforo y utilización de glucosa, comparando los cultivos de *C. vulgaris* inmovilizada sola o co-inmovilizada con *A. brasilense* bajo condiciones heterotróficas, fotoautotróficas y mixotróficas. Sus resultados mostraron un mayor crecimiento de la población de *C. vulgaris* sola en el régimen heterotrófico en comparación con el crecimiento bajo condiciones fotoautotróficas o mixotróficas. La adición de la bacteria mejora el crecimiento de la población microalgal solo en los regímenes fotoautotrófico y mixotrófico. Sin embargo, la utilización de amonio por el cultivo microalgal, el rendimiento celular por unidad de amonio y la productividad volumétrica total de los cultivos fueron en todos los casos mayores en cultivos de la microalga sola en un régimen heterotrófico. De manera contraria, en cultivos de *C. vulgaris* co-inmovilizados con *A. brasilense*, se obtuvo una mayor eliminación de fosforo en condiciones fotoautotróficas; sin embargo, tanto la afinidad por el fosfato como el rendimiento celular por unidad de fosfato fueron mayores en condiciones heterotróficas. Los autores concluyen que en un régimen heterotrófico, utilizando glucosa como

fuentes de carbono, la eliminación de amonio y fósforo es superior a la obtenida en los regímenes fotoautotróficos y mixotróficos.

Por otra parte, Cruz et al (2013, en de-Bashan et al.,2015) encontraron que el agua residual secundaria afecta la estabilidad mecánica de la esfera de alginato. Buscando aumentar la dureza de las esferas, los autores utilizaron diferentes concentraciones de alginato y probaron la adición de tres polímeros (polivinilpirrolidona, polivinil alcohol, carboximetilcelulosa), CaCO_3 , o SrCl_2 encontrando que ninguno de estos procedimientos evita la degradación de la esfera en el agua residual. En todos los casos, las esferas pierden su fuerza mecánica después de 24 h de incubación, aunque no la integridad de la forma por al menos 96 h. Este hecho, permite un exitoso tratamiento del agua residual en 48 horas.

Considerando como posible causa de la degradación de la esfera la actividad microbiana en el agua residual, Cruz et al. (2013, en de-Bashan et al. 2015) aislaron e identificaron nueve cepas bacterianas potencialmente degradadoras de alginato.

Siguiendo con la misma línea de estudio, intentando elucidar el efecto protector de la esfera de alginato en el agua residual, Covarrubias et al. (2013, en de-Bashan et al. 2015) demostraron que las poblaciones de *Chlorella sorokiniana* y *Azospirillum brasilense* cultivadas libres (no en las esferas de alginato) en el agua residual sin esterilizar, disminuyen considerablemente en comparación con las poblaciones presentes en el agua residual estéril. Ellos comprobaron que la esfera de alginato protege de manera significativa a los dos microorganismos co-inmovilizados dentro. El estudio más detallado de la superficie de la esfera, hecho tanto por hibridación fluorescente *in situ* como por microscopía electrónica de barrido mostró que la siguiente secuencia de eventos sucede al incorporar las esferas en el agua residual: (a) inicialmente se crea una biopelícula en la superficie, con las bacterias del agua residual, mezcladas con *Azospirillum brasilense*, (b) la esfera evita la penetración de organismos externos al interior de la misma, (c) la esfera evita la liberación al agua residual de los organismos inmovilizados, (d) hay una eliminación continua de amonio y fósforo del agua residual, por las 96 horas en las cuales la esfera mantiene su forma.

Con este estudio, se demuestra que la degradación de la esfera se da por agentes biológicos y no necesariamente por la composición química del agua residual, y se resalta el papel de la esfera de alginato como agente protector para la microalga y bacteria durante el tratamiento del agua residual (ver figura 5).

Adicional a su positivo efecto en el biotratamiento de agua residual, en esta asociación mutualista artificial los dos microorganismos crean una interacción que es análoga a la asociación natural planta-PGPB. Durante la inmovilización conjunta, aumentan de manera significativa los parámetros de crecimiento en la microalga, incluyendo la población general, la biomasa y en algunas cepas, el tamaño celular. En respuesta al establecimiento de esta asociación mutualista, la fisiología de la microalga cambia de manera dramática, en particular en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y vitaminas (de-Bashan et al. 2015). Por el lado de la bacteria, la producción de la fitohormona ácido indolacético (AIA) representa un mecanismo para manipular la toma y almacenamiento intracelular de N y P en la microalga (Meza et al. 2015). De manera recíproca, el triptófano producido por *Chlorella* y exudado al medio es utilizado por *Azospirillum* para producir AIA (Palacios et al, enviado).

Restauración de suelos erosionados

La erosión y contaminación del suelo es un problema global porque reduce la fertilidad de la tierra y la productividad de la cosecha afectando negativamente la economía nacional y el medio ambiente. En las áreas del desierto, contribuye también a la contaminación por polvo, ocasionando enfermedades respiratorias en la comunidad y ocasionando igualmente un incremento en la desertificación. El objetivo fundamental del trabajo en esta área es el de usar interacciones de plantas nativas del desierto y bacterias promotoras de crecimiento vegetal como una estrategia para restaurar suelos desérticos erosionados.

Estudios iniciales han demostrado que *Azospirillum brasilense* inoculado en el cardon gigante *Pachycereus pringlei*, endémico del desierto de Sonora, estabiliza el suelo, promueve el crecimiento de la planta y puede recobrase aun después de 300 días de inoculación (de-Bashan et al. 2012). En experimentos en campo, Bashan et al. (1999, en de-Bashan et al. 2012) reportan que tres especies de cactus tuvieron una tasa de supervivencia de 76%, mayor en comparación con los controles no inoculados: menos del 2% de los controles sobrevivieron más allá de los 3.5 años. Las plantas fueron inoculadas tres veces cada año por 2 años. La inoculación aumentó la biomasa de la planta y las características del suelo mejoraron significativamente. El resultado más importante de este experimento, fue la reducción de la erosión de suelo y el aumento en la cantidad de suelo superficial.

En experimentos en invernadero con las leguminosas nativas del desierto Sonorense mezquite (*Prosopis articulata*), palo verde (*Parkinsonia microphylla*) y palo junco (*Parkinsonia florida*) inoculados con PGPB (*A. brasilense* y *Bacillus pumilus*), hongos micorrizicos arbusculares (principalmente *Glomus* spp.) y un suplemento de composta, Bashan et al. (2009, en de-Basahn et al. 2012) se reportó que tanto mezquite como palo verde respondieron positivamente, contrario a los resultados obtenidos con palo junco. Después de 10 meses de cultivo, la supervivencia de las dos últimas fue de más del 80% y del mezquite fue de 100%. La inoculación de estas plantas induce efectos significativos en el intercambio de gases en estos árboles, en términos de transpiración y resistencia a la difusión.

En experimentos de campo realizados en la Reserva Laura Arriaga (El Comitán-CIBNOR) en suelos degradados con muy baja fertilidad, la supervivencia de los tres arboles leguminosos se vió marginalmente afectada por las inoculaciones después de 30 meses; la supervivencia estuvo en el rango de 60–90%, dependiendo de la especie, donde todos los arboles más jóvenes sobrevivieron más de 3 meses (ver figura 6). Tanto mezquite como palo verde respondieron positivamente a la inoculación, mostrando una altura mayor, un mayor número de ramas y mayor diámetro de tronco. Similar a los resultados obtenidos en invernadero, el palo junco no respondió a la inoculación. Este estudio en campo demostró el potencial que tiene la inoculación de árboles nativos con PGPBs tiene para desarrollar programas de restauración de suelos desérticos severamente erosionados (Bashan et al. 2012).

Otra utilización de PGPBs para propósitos ambientales es la fitoestabilización de jales mineros. De-Bashan et al. (2010a, b, en de-Bashan et al. 2012) inocularon a la planta *Atriplex lentiformis* con la bacteria *B. pumilus*, aislada de raíces de cardón *P. pringlei*, y obtuvieron como resultado un aumento significativo en el crecimiento de la planta. La inoculación afectó de manera marcada tanto a la comunidad bacteriana de jales ácidos con alto contenido de metales, como a la de jales neutros con bajo contenido de metales.

De manera similar, varias cepas de *A. brasilense* mostraron efectos similares en el crecimiento de la planta, y en la comunidad microbiana en jales ácidos metalíferos (de-Bashan et al. 2010 a, b, en de-Bashan et al. 2012). Un resultado importante reportado por de Bashan et al. (2010 a, b, en de-Bashan et al. 2012), es que en suelos con una comunidad bacteriana relativamente pequeña, como son los jales mineros, la inoculación con *B. pumilus* o *A. brasilense* produce un cambio significativo en la composición de la comunidad bacteriana nativa. Adicionalmente, las PGPBs producen un efecto indirecto a largo plazo en la población bacteriana nativa, ya que el inóculo influye el crecimiento de las raíces y los exudados radiculares aun después de que la población inicial de PGPBs ha desaparecido.

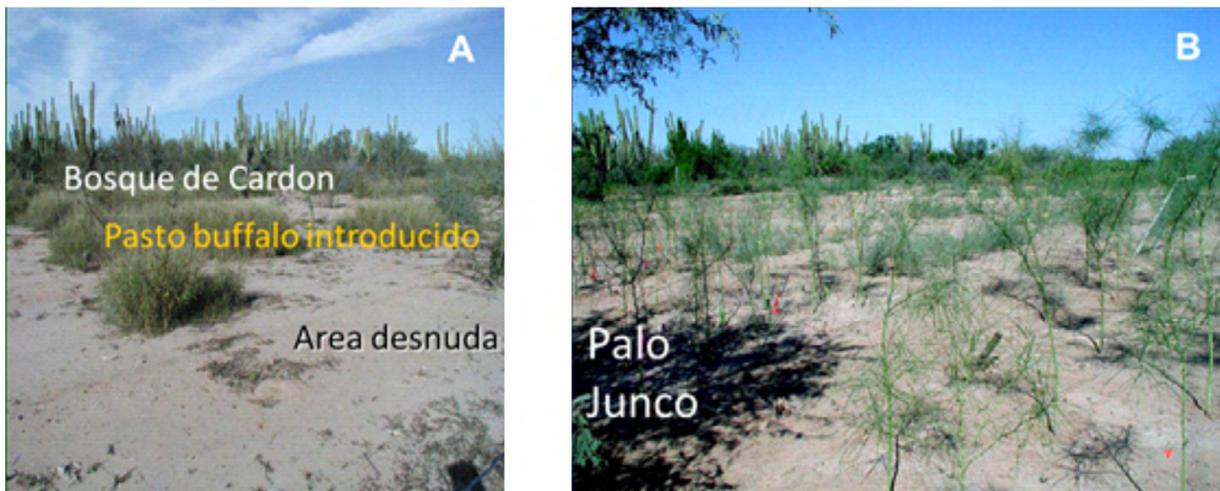


Figura 6

Uso de los desechos del biotratamiento de agua como inoculante para mejorar suelos infértiles

Como una estrategia para unir la experiencia obtenida tanto en el biotratamiento de agua residual con la mezcla de microalgas y PGPBs, y la recuperación de suelos erosionados con baja fertilidad con plantas y PGPBs, las esferas residuo del tratamiento conteniendo *Chlorella sorokiniana* y *Azospirillum brasilense* se secaron y se utilizaron como mejoradoras del suelo. Para este propósito se inocularon con ellas semillas de sorgo y se plantaron en suelos degradados con muy baja fertilidad. Después de tres aplicaciones de estas esferas de residuo secas, el contenido de materia orgánica, el carbono orgánico y el carbono microbiano aumentaron en el suelo (de-Bashan et al. 2015). De igual manera, la inoculación cambió de manera significativa la estructura de la comunidad bacteriana y aumentó su diversidad, en comparación con el suelo no inoculado (Lopez et al. 2013).

Los microorganismos del suelo

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales se debe a su cantidad (en una cucharadita de suelo hay más microbios que seres humanos en la tierra), diversidad, y, sobre todo, a las numerosas actividades que repercuten favorablemente en las plantas a través de sus raíces. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia diversidad de acciones que favorecen el desarrollo y nutrición de las plantas.

En la rizosfera, zona de varios milímetros alrededor de las raíces, donde se alojan una diversidad y una cantidad grande de microbios, se están secretando o liberando continuamente una gran diversidad de sustancias orgánicas llamadas exudados radicales, que sirven de alimento a los microbios, y pueden repelerlos o atraerlos hacia la raíz (fenómeno conocido como quimiotaxis) estimulando así el crecimiento de las plantas (ver figura 7) (Bacilio-Jiménez *et al.* 2001). Los exudados de la raíz pueden modificar las propiedades físicas y químicas del suelo, y en consecuencia regular la estructura de las comunidades microbianas del suelo en las inmediaciones de las superficies de la raíz. La composición de los exudados depende del estado de salud de la planta, así como de su edad y de la planta de que se trate (Bacilio-Jiménez *et al.* 2003a).

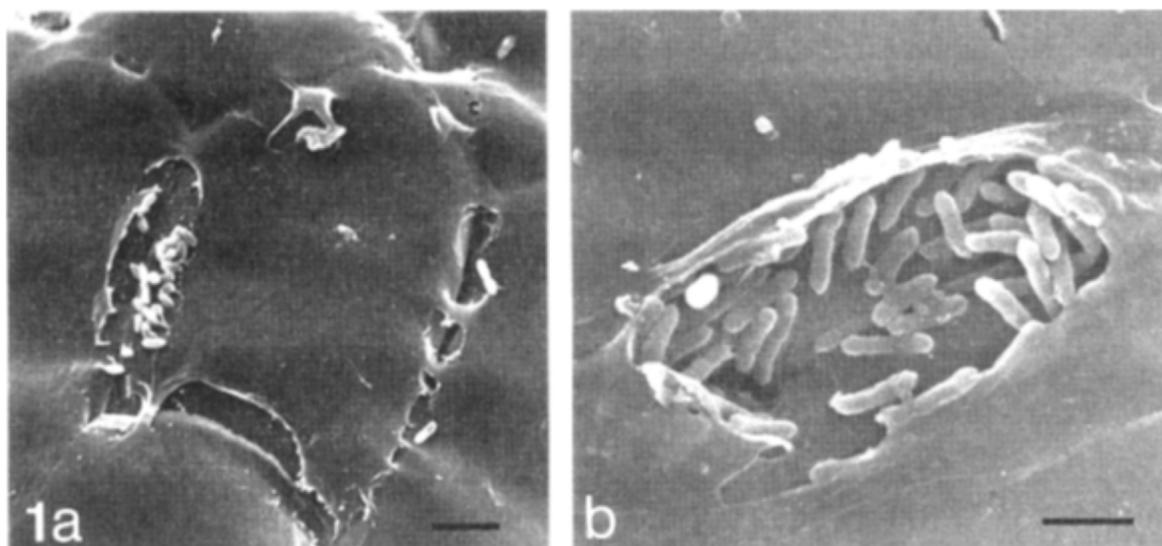


Figura 7

Cuando las bacterias que se están asociando a las raíces de las plantas, como las llamadas bacterias estimuladoras del crecimiento vegetal o PGPB, se establecen en la rizosfera, las plantas se beneficiarán porque esos microbios podrán fijar o “atrapar” nitrógeno del aire (fijación de nitrógeno); fabricar o sintetizar hormonas que inducirán la formación de más raíces y de mayor tamaño para absorber más agua y minerales del suelo; solubilizar o “hacer más apetitosos” para la planta algunos nutrientes como el fierro o el fósforo (solubilización de nutrientes); otras PGPB producirán antibióticos que impedirán que bacterias que enfermen a las plantas se establezcan y crezcan en las cercanías de la raíz (control biológico de patógenos).

Condición actual de los suelos en el mundo

Un suelo fértil es aquel que proporciona a las plantas un medio físico para que se establezcan y le brinden las cantidades y diversos tipos de nutrientes para completar su desarrollo. Sin embargo, hoy el 33% de la tierra está moderada o altamente degradada debido a la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación y la contaminación de los suelos por productos químicos orgánicos e inorgánicos. La tasa actual de degradación de los suelos amenaza la capacidad de las generaciones futuras de atender sus necesidades más básicas. En consecuencia, el manejo sostenible de los suelos agrícolas del mundo y la producción sostenible son imprescindibles para invertir la tendencia de degradación de los suelos y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura del mundo

(FAO, 2015). Por lo tanto, ¿cómo aprovechar y utilizar como aliados a las plantas y bacterias en la solución de esos problemas ambientales que deterioran los suelos? y aún más: ¿qué hacer para limpiar, restaurar, o aún, reutilizar suelos que han sido dañados?

En los siguientes párrafos se comentarán algunos resultados de las investigaciones realizadas en nuestro Centro de trabajo, utilizando las plantas, los microorganismos y mejoradores del suelo, que aportarán elementos en la resolución de estos problemas.

1. Mitigación del estrés por sales en plantas de trigo usando *Azospirillum lipoferum*.

Debido al abuso de fertilizantes químicos, al uso de agua de irrigación marginal y a los procesos de desertificación muchos suelos en el mundo se han salinizado por lo que el crecimiento y la producción de las plantas de interés agrícola se ve disminuida. Los efectos negativos de las sales en el crecimiento de plántulas de trigo, disminuyeron, aplicando en sus raíces *Azospirillum lipoferum* JA4::ngfp15 (bacteria del grupo de las PGPB), observándose además que las sales no afectaron la manera en que las bacterias se unen a las raíces de las plantas (ver figura 8), (Bacilio et al. 2004).

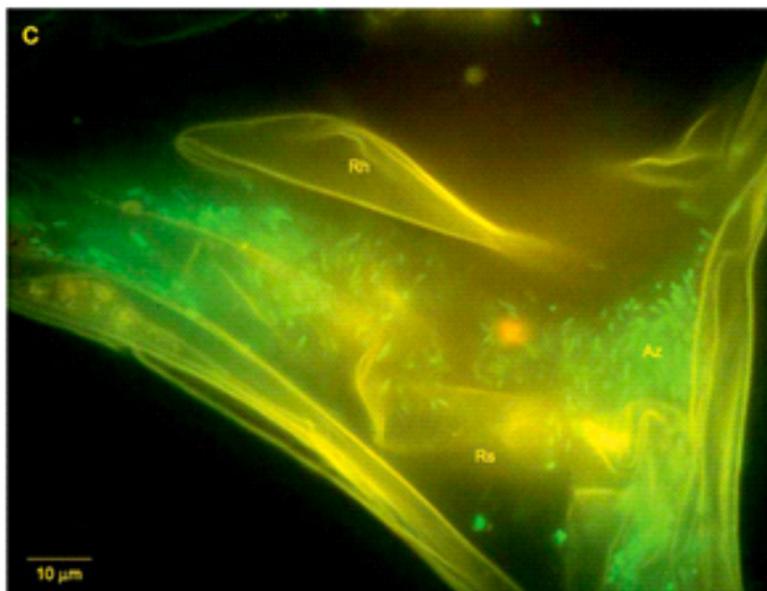


Figura 8

Otras experiencias nos muestran que *Azospirillum brasilense* Cd, incluido en microesferas de alginato, y aplicado a las plantas de trigo forman mayor cantidad de clorofilas a y b y de pigmentos fotoprotectores como la violaxantina y zeaxantina, pudiendo hacer más eficiente la fotosíntesis.

2. El uso de composta como agente mejorador de la calidad de los suelos.

Puesto que muchos suelos áridos en el sur del Desierto Sonorense en México son bajos en materia orgánica y en nutrientes disponibles, además dificultan el crecimiento normal de la mayoría de las plantas, en algunas de nuestras investigaciones hemos utilizado las compostas como un elemento que ayuda en los procesos de restauración de suelos, mejorando y conservando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en

forma armónica y amigable con el ambiente. La composta se forma por la descomposición de productos orgánicos por lo que se incrementa el contenido de materia orgánica del suelo, aumentando su fertilidad y mejorando su estructura física (ver figura 9). La composta puede ayudar en los procesos de remediación de suelos contaminados, mejorando la biodegradación de contaminantes orgánicos por los microorganismos de la composta, así como inmovilizando metales pesados por la composta misma. También puede mejorar la vitalidad y salud de los suelos porque aumenta la capacidad para “almacenar” agua y nutrientes, estabiliza el pH y mejora la aireación de los mismos. Incluso se ha visto que uno de sus componentes, las sustancias húmicas, pueden constituir una fuente de carbono para alimentar a los microorganismos del suelo, incrementando con ello su población (Bacilio *et al.* 2003b).



Figura 9

3. Supervivencia del cardón gigante en suelos desérticos aplicando composta.

El cardón gigante *Pachycereus pringlei*, es una de las principales especies responsables para la estabilización (conservación) del suelo en la parte sur del Desierto Sonorense, evitando con ello la erosión y destrucción de este valioso recurso natural. Bajo condiciones experimentales mantuvimos en crecimiento durante 18 meses plantas de cardón en suelo pobre pero aplicando de un 6 a 25% de composta. Los resultados mostraron que las plantas de cardón aumentaron de manera muy importante su crecimiento, comparable a los resultados obtenidos por las plantas cultivadas en un suelo rico en nutrientes (control positivo) (ver figura 10). Además la composta produjo plantas más verdes y voluminosas con altos niveles de pigmentos, por lo que consideramos que suelos áridos del desierto mejorados con composta pueden favorecer el crecimiento y la propagación masiva de cardones destinados para combatir la erosión del suelo en el desierto (Bacilio *et al.*, 2006).



Figura 10

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por CONACYT proyecto 105969-Z; 2008–2014, CIBNOR proyectos PC0.18-2010-2014 de A.L.C y CONACYT proyectos 130656 y 164548; 2009-2011, de Y.B. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Bibliografía

- Bacilio M., P. Vazquez y Y. Bashan. 2003b. *Alleviation of noxious effects of cattle ranch composts on wheat seed germination by inoculation with Azospirillum spp.* Biology and Fertility of Soil 38: 261-266.
- Bacilio M., H. Rodriguez, M. Moreno, J.P. Hernandez, y Y. Bashan. 2004. *Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp- tagged Azospirillum lipoferum.* Biology and Fertility of Soil 40:188-193.
- Bacilio, M., J.P. Hernandez y Y. Bashan. 2006. *Restoration of giant cardon cacti in barren desert soil amended with common compost and inoculated with Azospirillum brasilense.* Biology and Fertility of Soil 43:112-119.
- Bacilio-Jimenez, M., S. Aguilar-Flores, M. Velazquez del Valle, A. Perez, A. Zepeda, y E. Zenteno. 2001. *Endophytic bacteria in rice seeds inhibit early colonization of roots by Azospirillum brasilense.* Soil Biology Biochemistry 33: 167-172.
- Bacilio-Jimenez, M., S. Aguilar-Flores, E. Ventura-Zapata, E. Pérez-Campos, Bouquelet, S. y E. Zenteno. 2003a. *Chemical characterization of root exudates from rice (Oryza sativa) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria.* Plant and Soil 249: 271-277.

- de-Bashan, L.E., J.P. Hernandez, Y. Bashan. 2012. *The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation - A comprehensive evaluation*. Applied Soil Ecology 61: 171-189.
- de-Bashan, L.E., J. P. Hernandez, Y. Bashan, Y. 2015. *Interaction of Azospirillum spp. with microalgae: a basic Eukaryotic-Prokaryotic model and its biotechnological applications*. En: Cassan, F., Okon, Y., Creus, C. (Eds). Handbook of *Azospirillum*. Springer International Publishing Switzerland. pp 367-388.
- FAO Italia. 2015. *El suelo es un recurso no renovable*. En: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>, consultado el 16 de septiembre de 2015.
- LópezCortés, A. 1991. *Geomicrobiología Ambiental*. En: Ortega, A. y Arriaga, L. (Eds.). La Reserva de la Biosfera El Vizcaino en la Peninsula de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. Mexico. La Paz, BCS. 317 pp.
- LópezCortés, A. 1998. *Ecología y Biotecnología de las Comunidades Microbianas*. Ciencia y Desarrollo 24 (138): 10-17.
- López-Cortés, A., F. García-Pichel, U. Nübel y R. Vázquez-Juárez. 2001. *Cyanobacterial diversity in extreme environments in Baja California, Mexico: A Polyphasic Study*. International Microbiology 4 (4): 227-236.
- López-Cortés, A., Y. Maya-Delgado, E. Troyo-Diéguéz y L. Landa-Hernández. 2001. *Cianobacterias criptobióticas: una alternativa de agricultura orgánica*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S., México. 28 pp.
- López-Cortés, A., O. Rodríguez-Fernández, H. Latisnere-Barragán, H. Mejía-Ruiz, G. González-Gutiérrez y C. Lomelí-Ortega. 2010. *Characterization of polyhydroxyalkanoate and the phaC gene of Paracoccus seriniphilus E71 strain isolated from a polluted marine microbial mat*. World Journal of Microbiology and Biotechnology 26 (1): 109-118.
- Meza, B., L.E. de-Bashan, J.P. Hernandez, Y. Bashan. 2015. *Accumulation of intra-cellular polyphosphate in Chlorella vulgaris cells is related to indole-3-acetic acid produced by Azospirillum brasilense*. Research in Microbiology 166: 399-407.
- Ramos Peña A.E., J. Balsameda Era, J.N. Farfán García, J.Q. García Maldonado, H. García Ortega, J. Gutiérrez Flores, S. Gutiérrez Flores, A. López Cortés, C.I. Mendoza Ruiz, M. Moukhamed Tlenkopatchev, S.E. Reyes Gómez, G. Santana Rodríguez, A.A. Santiago de la Cruz Y P. Villareal Vega. 2012. *Bioenergía, Química y Energía Sostenible*. Editorial Terracota. Colección sello de arena, ¿Qué energía te mueve?. UNAM. México. 80 pp.

Cita de este artículo

- López-Cortés, A. *, L. E. de-Bashan, M. Bacilio Jiménez y Y. Bashan. 2015. **La Investigación en Microbiología Ambiental en Baja California: Importancia y Usos**. Recursos Naturales y Sociedad, Vol. 1 (83-98): DOI:10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0007

Sometido: 10 de septiembre de 2015

Revisado: 22 de noviembre de 2015

Aceptado: 10 de diciembre de 2015

Editor asociado: Dr. Alfredo Ortega Rubio

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández