

El papel de los antimicrobianos en la estructura de las comunidades microbianas en la naturaleza

Rol of antimicrobials on the structure of microbial communities in nature

OSKAR ALEJANDRO PALACIOS-LÓPEZ¹, MARÍA OLGA GONZÁLEZ-RANGEL¹,
BLANCA ESTELA RIVERA-CHAVIRA¹ Y GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ-MOORILLÓN^{1,2}

Resumen

Los microambientes son estructuras complejas, en donde se encuentran en equilibrio una gran cantidad de organismos microscópicos, tanto eucariotes como procariotes, que interactúan entre ellos y con los factores abióticos del medio. Para lograr el equilibrio entre los miembros de una comunidad microbiana, se establecen interacciones que resultan benéficas o perjudiciales para una de las especies que interactúan, o para ambas. Entre estas interacciones, se encuentran: comensalismo, simbiosis, y parasitismo, entre otras. Estas interacciones les facilita a los microorganismos la obtención de compuestos que pueden ser utilizados como sustratos o como complementos, asegurando así su sobrevivencia y mantenimiento en un ecosistema. Para sobrevivir, algunos microorganismos deben producir compuestos capaces de inhibir el desarrollo de microorganismos competidores. Estos compuestos, conocidos como antimicrobianos, pueden causar daño a la célula bacteriana competidora a través de diversos mecanismos de acción, pero el fin es cumplir con el mismo objetivo, la eliminación de la competencia microbiana. La producción industrial de algunos de estos antimicrobianos, han revolucionado nuestra forma de vida, al proporcionarnos herramientas para el control de enfermedades infecciosas.

Palabras clave: interacciones microbianas, simbiosis, parasitismo, competencia, bacterias.

Abstract

Microenvironments are natural complex structures, where microscopic organisms (both, eukaryotic and prokaryotic organisms) are in balance, by way of interactions among them and with the abiotic factors present in the environment. In order to achieve equilibrium between the members of a microbial community, different interactions are established, that are either beneficial or prejudicial to one or both interaction species. Among those interactions are commensalism, symbiosis and parasitism. The interactions support the acquirement of compounds that can be used as substrates or complements for microbial growth, assuring in this way, its survival and maintenance in the ecosystem. To survive, some microorganisms produce compounds capable of inhibiting the development of competitive microbiota. Those compounds, known as antimicrobials, can cause damage to the competitive microbial cell through different mechanisms of action, but the final goal is the same: to eliminate the competitive microbiota. Industrial production of some of those antimicrobials, have revolutionized our society, since they can be used to control infectious diseases.

Keywords: microbial interactions, symbiosis, parasitism, competition, bacteria.

Introducción

Los microorganismos han existido en el planeta desde muchos años antes que el hombre, se encuentran en los más diversos ambientes, en donde además son responsables de muchos de los procesos biogeoquímicos; además presentan una gran capacidad de resistencia y adaptación a condiciones extremas. Se encuentran distribuidos en suelo, mar, ríos, lagos, aire (principalmente como forma de dispersión) y otros, en donde presentan una gran diversidad de especies, que conviven equilibradamente. La mayoría participan en los ciclos naturales de los elementos, y no interactúan negativamente con el hombre, por lo que puede considerárseles "amigables"; son unos cuantos los que representan un peligro para la salud del hombre o de otros macroorganismos.

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II, Apdo. Postal 1542-C. Chihuahua, Chih., México 31125 Tel. (614) 236-6000

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: vnevare@uach.mx

Gran parte de la forma en la que se encuentran distribuidos los microorganismos se debe a las condiciones ambientales del ecosistema, llamadas factores abióticos; pero su presencia también es el resultado de la interacción con otros microorganismos presentes, con los que se establecen relaciones de cooperación o de competencia. Esta se da principalmente por la búsqueda de fuentes de energía, o por la escasez de nutrientes, lo que obliga a los microorganismos a emplear herramientas de «defensa» y «ataque» para aminorar esta competencia, ya sea generando ambientes de estrés para los demás microorganismos, o bien produciendo compuestos químicos que afecten su viabilidad. Las relaciones entre los microorganismos, o de los microorganismos con macroorganismos, pueden ser benéficas, en donde ambos obtienen ganancias (simbiosis), como sucede con algunas plantas, facilitándose mutuamente nutrientes o factores de crecimiento. Sin embargo, existen algunos microorganismos que invaden otros organismos, aprovechándose de sus nutrientes y generando efectos adversos en los hospederos, llegando incluso a provocarles la muerte.

Muchas de estas interacciones se dan gracias a la generación de algunos compuestos que inhiben el crecimiento de otros microorganismos competidores. Este fenómeno se llama antibiosis, y los compuestos químicos que se generan han sido la base de las propiedades antimicrobianas o antibióticos. Si bien los primeros antibióticos se identificaron a partir de la producción de estos compuestos por microorganismos, estas estructuras han sido mejoradas por síntesis química, produciendo nuevas generaciones de antibióticos. Estos nuevos compuestos han tomado gran importancia en los últimos años, debido a la aparición de cepas bacterianas cada vez más resistentes a los antimicrobianos ya existentes. Una de las alternativas para el uso de compuestos sintéticos es el aprovechamiento de compuestos generados por microorganismos no patógenos, debido a que se ha observado que algunos de estos compuestos no presentan toxicidad para el organismo humano, pero sí para algunos microorganismos patógenos.

Un ejemplo de un microorganismo generador de compuestos con actividad antimicrobiana es *Bacillus*

subtilis, que presenta características que le permiten estar en muy diversos ambientes. Este microorganismo ha tomado importancia en el campo de la microbiología ambiental debido a la generación de compuestos (lipoproteínas) con actividad surfactante, los cuales facilitarían la remoción de sustancias de difícil descomposición, como lo son los hidrocarburos. Pero la aplicación de las lipoproteínas ha retomado interés en el área clínica, porque han mostrado funciones antimicrobianas, provocando la curiosidad de investigadores que su uso contra microorganismos resistentes a antibióticos (Fernandes *et al.*, 2007). Se han logrado identificar otros compuestos también con función antimicrobiana en cepas del mismo género bacteriano. Tal es el caso de las bacteriocinas, péptidos que por sus características (amplio espectro de inhibición y una estructura que se ve afectada al entrar al tracto gastrointestinal de animales y humanos, inactivándose) han sido aprovechadas en la industria alimentaria como conservadores (Abriouel *et al.*, 2010).

Una gran cantidad de microorganismos pueden producir bacteriocinas; algunas tienen una capacidad inhibitoria muy limitada, inhibiendo a microorganismos muy relacionados filogenéticamente con ellos, mientras que otros tienen un amplio espectro de inhibición. Algunas de las bacteriocinas producidas por *Bacillus*, se clasifican dentro del grupo de los lantibióticos, que pueden ser de tipo A (elongados y con carga positiva), o de tipo B (circulares y sin carga). Por sus características, las bacteriocinas han encontrado aplicación en diversas actividades, como en la medicina (antimicrobianos como remplazo de antibióticos convencionales), la ganadería (probióticos), en los alimentos (conservadores), en la acuicultura, en biocontrol agrícola, entre otras áreas. En la acuicultura se ha probado el uso de cepas de *Bacillus cereus* para evitar el desarrollo de microorganismos patógenos para los peces, así como para mantener la calidad del agua (Lallo *et al.*, 2010). Debido a la producción de estos compuestos, así como a características morfológicas y de diferenciación celular (formación de endosporas) que presenta el género *Bacillus*, es posible encontrar a estos microorganismos en muy diversos ambientes (Abriouel *et al.*, 2010), ya que estas son herramientas

que le permiten asegurar su sobrevivencia en ecosistemas adversos. Por ello, se le puede encontrar en sitios contaminados con metales pesados, donde se han logrado desarrollar especies del género *Bacillus*, capaces de reducir metales tóxicos como el cobre IV a formas estables para el hombre y el ambiente, como es el cobre III (Verma *et al.*, 2009).

Producción de compuestos antimicrobianos en diversos ambientes. Debido a las múltiples funciones que se han encontrado para algunos metabolitos bacterianos, como es el caso del surfactante y las bacteriocinas producidos por *Bacillus*, se ha sugerido que metabolitos con estructuras similares, producidos por otros microorganismos, pueden ser igualmente efectivos en las mismas funciones. Por ello, se han buscado microorganismos productores de surfactantes, principalmente en ambientes contaminados con hidrocarburos, incluyendo refinerías y lugares de almacenamiento de combustibles. Es muy común encontrar en estos sitios microorganismos del género *Pseudomonas* capaces de producir biosurfactantes, y por ende, compuestos con actividad inhibitoria no solo contra bacterias, sino también contra levaduras y hongos (Yalcin y Ergene, 2009). Este mismo género es productor de otros tipos de compuestos con funciones quelantes (sideróforos), que tienen gran importancia en la biodisponibilidad de metales pesados, y su uso ha tomado importancia en la restauración de ambientes contaminados con metales. Esta capacidad quelante tiene acción antimicrobiana, secuestrando metales (como cobre, zinc, y otros) haciéndolos no disponibles para otros microorganismos (Sebat *et al.*, 2001).

Se han estudiado otros ambientes por microorganismos con producción de metabolitos antimicrobianos, entre ellos, el ambiente marino, en donde se ha dado especial énfasis en el establecimiento de interacciones microbianas. En el mar se pueden encontrar microorganismos capaces de sobrevivir en ambientes extremos (temperaturas muy frías, altas presiones y ausencia de luz), facilitándose su sobrevivencia con la generación de compuestos de estructuras complejas (Debbad *et al.*, 2010). Las *Marinomonas* son un ejemplo de este tipo de microorganismos; son bacterias melanogénicas productoras de péptidos

antimicrobianos denominados «Marinocinas». El mecanismo de acción de estos compuestos es la generación de peróxidos de hidrógeno (el aminoácido lisina es esencial para llevar a cabo esta función), que daña las células bacterianas de los microorganismos competidores. Sin embargo, estos son capaces de generar enzimas como la catalasa, son inmunes a estos péptidos antimicrobianos, generando un ambiente muy competitivo (Lucas *et al.*, 2006). Otro microorganismo aislado del mar, es *Brevibacillus laterosporus*, que genera un lipopéptido denominado tauramamida; este compuesto presenta una relativa actividad selectiva contra microorganismos Gram positivos, patógenos para el hombre, como *Enterococcus* sp. y contra microorganismos multidrogosistentes como *Staphylococcus aureus* (Debbad *et al.*, 2010). Al igual que *Brevibacillus laterosporus* y *Marinomonas*, existen una gran variedad de microorganismos que han sido estudiados por la producción de compuestos antimicrobianos con posibles aplicaciones biotecnológicas. Este es el caso de *Marinispora* (productora de compuestos linezólidos), *Pseudomonas stutzeri* (productora de un compuesto denominado zafrina), una cepa de *Nocardia* sp. (generadora de ayamicina), y otros microorganismos más entre los que se encuentran diversos hongos como *Nigrospora* y *Aspergillus*. Una extensa revisión sobre diversos microorganismos marítimos, productores de compuestos antimicrobianos se puede encontrar en Debbad *et al.* (2010).

Por otro lado, así como en el océano existen microorganismos que son capaces de producir metabolitos para eliminar la competencia, otro ambiente en el que también se pueden encontrar estas características es el suelo. El suelo es uno de los hábitats más diversos en el planeta, contiene una gran variedad de factores abióticos y bióticos, que le permiten el sostenimiento de múltiples microorganismos con características metabólicas muy diferentes. Los actinomicetos son bacterias que se encuentran ampliamente distribuidas en el suelo, y son uno de los grupos más estudiados por su producción de antibióticos. Entre los reportes de producción de compuestos antimicrobianos por actinomicetos, se encuentran la actagardina o

Michiganina A, producida por *Clavibacter michiganensis*, de carácter catiónico (Nishikawa y Ogawa, 2002; Holtsmark *et al.*, 2006). Existen también otros microorganismos a los que últimamente se les ha dado importancia, uno de ellos es el género *Aristabacter*; esta es una arqueobacteria, que normalmente se encuentra como microorganismo predador, no solo de otras bacterias, sino también de levaduras y algunos protozoos. Esta bacteria es capaz de generar no solo compuestos con actividad antimicrobiana, sino también compuestos que llevan a cabo una potenciación de esta actividad, lo que le facilita ampliar su espectro de acción. Interacciones como la mencionada, se han considerado como una opción para mejorar el uso y la aplicación de los antibióticos (Cain *et al.*, 2003) disminuyendo además la aparición de cepas multirresistentes. Se han reportado diversos mecanismos de resistencia a compuestos antimicrobianos naturales que adoptan bacterias en el mismo ecosistema. Tanto compuestos antimicrobianos naturales como antibióticos sintéticos generan estrés en el microambiente, lo que obliga a una adaptación por parte de los microorganismos afectados, propiciando la generación de mecanismos de resistencia (Cantón, 2009).

Una forma en la que los microorganismos se protegen contra condiciones adversas es la producción de biopelículas, que se dan especialmente compuestos energéticos y por sobrevivencia. Uno de los mecanismos de competencia que se observa en biopelículas es la producción de compuestos antimicrobianos por algunos géneros bacterianos como *Serratia*. Estos compuestos afectarán a los microorganismos más sensibles, pero aquellos que muestren una pequeña resistencia no se verán afectados, y conseguirán a la larga generar metabolitos que pueden afectar al primer grupo de microorganismos (Moons *et al.*, 2006). Se ha observado que las biopelículas no solo facilitan el ambiente necesario para la sobrevivencia a los microorganismos que la forman, también confieren una gran resistencia a compuestos antimicrobianos como son los antibióticos, metales pesados y otros compuestos agresores; por ello, la capacidad de producir biopelícula puede ser un

factor de virulencia importante para algunos microorganismos patógenos. Esta es una razón por la que ha aumentado el interés en el conocimiento de la estructura y funciones de las biopelículas, con el objetivo de encontrar compuestos capaces de actuar sobre las adhesinas, evitando la formación de estos consorcios y con ello, la sobrevivencia de patógenos en ambientes no deseados como hospitales (Daniels *et al.*, 2010).

Microorganismos protectores e invasores. Muchos de los microorganismos que generan compuestos antimicrobianos, no solo facilitan su estancia en un ambiente, sino que promueven el desarrollo de otros organismos como plantas y animales. En el cuerpo humano, y en el organismo de todos los animales se encuentran microorganismos denominados comensales, que colonizan de forma natural algún órgano del cuerpo, sin afectar de forma significativa al organismo hospedador. Se ha observado que algunos de estos microorganismos son los responsables de la resistencia que muestra el organismo hacia algunos microorganismos patógenos.

Uno de los géneros bacterianos que se ha establecido como benéfico y protector para otro organismo es *Bacillus subtilis*, que coloniza de forma natural el tracto gastrointestinal, evitando por medio de la generación de algunos compuestos como el factor anticlostridial, el establecimiento de bacterias del género *Clostridium*, responsables de cuadros gastrointestinales necróticos (Yeow y Meng, 2005). Otro género estudiado es *Enterococcus*, que produce enterocinas, compuestos con acción bactericida contra microorganismos Gram negativos y Gram positivos; también las *Alteromonas* evitan el establecimiento de microorganismos patógenos en peces y moluscos mediante la producción de compuestos extracelulares (Balla *et al.*, 2000; León *et al.*, 2005; Martín *et al.*, 2006).

Otros microorganismos que han cobrado interés son aquellos que confieren protección a las plantas contra algunos patógenos. Estos microorganismos, en la mayoría de los casos bacterias, establecen relaciones simbióticas con las plantas beneficiadas asegurándose así de obtener nutrientes, proporcionando a la planta los compuestos que

estimularán su crecimiento, y promoviendo la producción de compuestos que evitarán el establecimiento de microorganismos parásitos (Segura *et al.*, 2009). Partiendo de estas funciones, se han desarrollado trabajos para purificar algunos de estos compuestos con el objetivo de aplicarlos en terapias agrícolas, en el combate de plagas (principalmente por hongos) y para la recuperación de cultivos. Algunos de los géneros que llevan a cabo la producción de compuestos antifúngicos son *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Zimomonas* y *Streptomyces* (Nakayama *et al.*, 1999; Riedlinger *et al.*, 2006; Mandrik *et al.*, 2007; Coraiola *et al.*, 2008; Reddy *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2008).

¿Cuál es el mecanismo de acción de estos compuestos antimicrobianos? La mayoría de los compuestos con actividad antimicrobiana que se han descrito en este documento, tienen actividad sobre la membrana bacteriana, generando poros que provocan la ruptura celular. Sin embargo, este no es el único mecanismo que presentan los metabolitos antimicrobianos que son generados por los diversos microorganismos en el ambiente. Entre los diversos mecanismos de acción de estos compuestos se encuentran: la alteración en la formación de la membrana citoplasmática, inhibición de la síntesis de la pared celular, la inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos,

proteínas y de algunas actividades enzimáticas (Cuadro 1). Para poder ejercer cualquiera de estas acciones, los compuestos antimicrobianos deben primero interactuar con el microorganismo al que atacarán, principalmente debido a cargas eléctricas. Posteriormente, debe presentarse su internalización en el microorganismo, para llevar a cabo su función, ya sea atravesando la membrana de forma transversal, generando poros, o interactuando con canales iónicos (lo que generará una descompensación iónica), o interactuando con cualquier compuesto intracelular, afectando su función (Brogden, 2005; Coraiola *et al.*, 2008).

El mecanismo de acción de un metabolito antimicrobiano estará definido por dos factores:

- a) La estructura y composición del metabolito
- b) La estructura y composición de la membrana bacteriana.

Los compuestos antimicrobianos son moléculas que presentan carga, ya sea positiva (catiónica) o negativa (aniónica), misma que les dará afinidad hacia alguna superficie. Por ejemplo, los compuestos catiónicos tenderán a unirse a compuestos cargados negativamente en las superficies de las bacterias (fosfolípidos y lipopolisacáridos en las bacterias Gram negativas y los ácidos teicóicos en las bacterias Gram positivas).

Cuadro 1. Mecanismos de actividad antimicrobiana por metabolitos microbianos en el ambiente.

Actividad	Tipo de compuesto	Bacteria productora	Referencia
Generación de poros en membrana	Bacteriocinas y autolisinas	Bacterias del género <i>Bacillus</i> , bacterias lácticas, <i>E. coli</i> , <i>Staphylococcus simulans</i> , etc.	Brogden, 2005; Abriouel <i>et al.</i> , 2010
Formación de sideróforos (transporte de metales)	Ácido piridina - 2, 6 - ditiocarboxílico	<i>Pseudomonas</i> spp.	Sebat <i>et al.</i> , 2001
Generación de peróxido de hidrógeno	Marinocina	<i>Marinomonas</i> spp., <i>Pseudoalteromonas</i> spp.	Lucas <i>et al.</i> , 2006
Formación de canales iónicos	Lipopeptidos con características surfactantes y fuscopeptinas	<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Pseudomonas fuscovaginae</i>	Fernandes <i>et al.</i> , 2007; Coraiola <i>et al.</i> , 2008
Inhibición de la biosíntesis de peptidoglicanos	Lantibióticos	Bacterias Gram positivas	Brogden, 2005
Enzimas proteolíticas	Aureolisina	<i>Staphylococcus aureus</i>	Brogden, 2005

Cualquiera que sea el mecanismo de acción de estos compuestos, su objetivo siempre será el mismo, la eliminación de la competencia para favorecer el establecimiento y sobrevivencia de una especie en el microambiente. Un punto importante es que la generación de estos compuestos no está influenciada por un solo microorganismo, pero es mantenida por una comunidad. El mecanismo de comunicación entre los miembros de la comunidad se denomina quorum sensing, y está directamente relacionado con la densidad celular. El mecanismo de *quorum sensing* involucra la secreción de moléculas señaladoras, mismas que controlarán la formación o no de estos compuestos antimicrobianos con el objetivo de mantener un equilibrio en la comunidad (Moons *et al.*, 2006).

El papel del quorum sensing en la sobrevivencia de las bacterias. Como se ha mencionado con anterioridad, existen diversos mecanismos por los que algunos microorganismos pueden presentar ventajas sobre otros en cuanto a la sobrevivencia en ambientes extremos o adversos. Uno de estos mecanismos de sobrevivencia está dado por el *quorum sensing*, que permite el control de la expresión de genes por la detección de una concentración específica de ciertas sustancias químicas, conocidas como autoinductores. Estas moléculas se producen por los microorganismos de una comunidad, y dependiendo del número de microorganismos presentes, la cantidad de autoinductores será tal que desencadenarán mecanismos de control de la expresión genética. El *quorum sensing* es el responsable del control de múltiples mecanismos de sobrevivencia de los microorganismos, como son la secreción de compuestos antimicrobianos, la formación de biopelículas, la esporulación y la movilidad, entre otros. Debido a esto, existen diversos estudios sobre mecanismos de inhibición del *quorum sensing* en microorganismos patógenos con objetivos terapéuticos; o bien, para el control de aplicaciones biotecnológicas (Ni *et al.*, 2009).

Conclusión

La generación de compuestos antimicrobianos por microorganismos, es una forma de controlar las

comunidades bacterianas que se presentan en un ecosistema. Las interacciones entre diversos organismos como la simbiosis, el comensalismo, el parasitismo y la competencia, son esenciales para establecer un equilibrio entre las especies integrantes del ecosistema. Es interesante estudiar los mecanismos que se presentan en estas interacciones, con el objetivo no solo de comprender los diversos ambientes, también de buscar su aplicación en la recuperación de ambientes afectados por el hombre. El estudio de mecanismos como el *quorum sensing* auxiliarán en la mejor comprensión de la forma en la que los microorganismos compiten por los ecosistemas, así como los mecanismos de ataque y defensa que presentan. Por otro lado, las estrategias de sobrevivencia de los microorganismos en el ambiente pueden servir de base para el estudio de factores de virulencia por patógenos del hombre, animales o plantas; los patógenos están tratando de sobrevivir en un ambiente hostil, el del hospedero.

Literatura citada

- ABRIOUEL H., C. Franz, N. Omar y A. Gálvez. 2010. Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. *FEMS Microbiological Reviews* 35: 201 – 232.
- BALLA E., L. Dicks, M. Du Toit, M. Van Der Merwe y W. Holzapfel. 2000. Characterization and Cloning of the Genes Encoding Enterocin 1071A and Enterocin 1071B, Two Antimicrobial Peptides Produced by *Enterococcus faecalis* BFE 1071. *Applied and Environmental Microbiology*. 66: 1298 – 1304.
- BROGDEN K. 2005. Antimicrobial peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nature Reviews* 3: 238 – 250.
- CAIN C., D. Lee, R. Waldo, A. Henry, E. Casida, M. Wani, M. Wall, N. Oberlies y J. Falkinham. 2003. Synergistic Antimicrobial Activity of Metabolites Produced by a Nonobligate Bacterial Predator. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 47: 2113 – 2117.
- CANTÓN R. 2009. Antibiotic resistance genes from the environment: a perspective through newly identified antibiotic resistance mechanisms in the clinical setting. *Clinical Microbiology and Infection* 15: 20 – 25.
- CORAIOLA M., R. Paletti, A. Flore, V. Fogliano y M. Dalla. 2008. Fuscopeptins, antimicrobial lipodepsopeptides from *Pseudomonas fuscova*, are channel forming active on biological and model membranes. *Journal of Peptide Science* 14: 496 – 502.
- DANIELS C., M. Espinosa, J. Niqui, C. Michán y J. Ramos. 2010. Metabolic engineering, new antibiotics and biofilm viscoelasticity. *Microbial Biotechnology* 3: 10 – 14.
- DEBBAD A., A. Aly, W. Lin y P. Proksch. 2010. Bioactive compounds from marine bacteria and fungi. *Microbial Biotechnology* 3: 544 – 563.
- FERNANDES P., I. Arruda, A. Amatto, A. Araújo, A. Souto y E. Azevedo. 2007. Antimicrobial activity of surfactants produced by *Bacillus subtilis* R14 against multidrug-resistant bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology* 38: 704 – 709.

- HOLTSMARK I., D. Mantzilas, V. Eijsink y M. Brurberg. 2006. Purification, Characterization, and Gene Sequence of Michiganin A, an Actagardine – Like Lantibiotic Produced by Tomato Pathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 5814 – 5821.
- LALLO R., G. Moonsamy, S. Ramchuran, J. Görgens y N. Gardiner. 2010. Competitive exclusion as a mode of action of *Bacillus cereus* aquaculture biological agent. *Letters in Applied Microbiology* 50: 563 – 570.
- LEÓN J., G. Tapia y R. Ávalos. 2005. Purificación parcial y caracterización de una sustancia antimicrobiana producida por *Alteromonas* sp. de origen marino. *Revista Peruana de Biología* 12: 359 – 368.
- LUCAS P., D. Gómez, F. Solano y A. Sánchez. 2006. The Antimicrobial Activity of Marinocine, Synthesized by *Marinomonas mediterranea*, Is Due to Hydrogen Peroxide Generated by Its Lysine Oxidase Activity. *Journal of Bacteriology* 188: 2493 – 2501.
- MANDRYK M., E. Kolomiets y E. Dey. 2007. Characterization of Antimicrobial Compounds Produced by *Pseudomonas aurantiaca* S-1. *Polish Journal of Microbiology* 56: 245 – 250.
- MARTÍN A., E. Valdicia, M. Ruiz, J. Soler, M. Martín, M. Maqueda y M. Bueno. 2006. Characterization of Antimicrobial Substances Produced by *Enterococcus faecalis* MRR 10-3, Isolated from the Uropygial Gland of the Hoopoe. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4245 – 4249.
- MOONS P., R. Van Houdt, A. Aertsen, K. Vanoirbeek, Y. Engelborghs y C. Michiels. 2006. Role of *Quorum sensing* and Antimicrobial Component Production by *Serratia plymuthica* in Formation of Biofilms, Including Mixed Biofilms with *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 7294 – 7300.
- NAKAYAMA T., Y. Homma, Y. Hashidoko, J. Mizutani y S. Tahara. 1999. Possible Role of Xanthobaccins Produced by *Stenotrophomonas* sp. Strain SB-K88 in Suppression of Sugar Beet Damping-Off Disease. 65. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4334 – 4339.
- NI N., M. Li, J. Wang y B. Wang. 2009. Inhibitors and Antagonists of Bacterial *Quorum sensing*. *Medicinal Research Reviews* 29: 65 – 124.
- NISHIKAWA M. y K. Ogawa. 2002. Distribution of Microbes Producing Antimicrobial α -Poly-L-Lysine Polymers in Soil Microflora Determined and Novel Method. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 3575 – 3581.
- REDDY B., K. Reddy, M. Rao y K. Rao. 2008. Efficacy of Antimicrobial Metabolites of *Pseudomonas fluorescens* Against Rice Fungal Pathogens. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy* 2: 178 – 182.
- RIEDLINGER J., S. Schrey, M. Tarkka, R. Hampp, M. Kapur y H. Fiedler H. 2006. Auxofuran, a Novel Metabolite That Stimulates the Growth to Fly Agaric, Is Produced by Mycorrhiza Helper Bacterium *Streptomyces* Strain AcH 505. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 3550 – 3557.
- ROMERO M., J. Ramallo y L. Ploper L. 2008. Acción inhibitoria de una cepa de *Zimomonas mobilis* aislada de caña de azúcar sobre *Xanthomonas citri* subsp. *citri* agente causal de la cancriosis de los cítricos. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. 85; 17 – 22.
- SEBAT J., A. Paszczynski, M. Cortese y R. Clawford R. 2001. Antimicrobial Properties of Pyridine-2,6-Dithiocarboxylic Acid, a Metal Chelator Produced by *Pseudomonas* spp. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 3934 – 3942.
- SEGURA A., P. de Wit y G. Preston. 2009. Life of microbes that interact with plants. *Microbial Biotechnology* 2: 412 – 415.
- VERMA T., S. Garg y P. Ramteke. 2009. Genetic correlation between chromium resistance and reduction in *Bacillus brevis* isolated from tannery effluent. *Journal of Applied Microbiology* 107: 1425 – 1432.
- YALCIN E. y A. Ergen. 2009. Screening the Antimicrobial Activity of Biosurfactants Produced by Microorganisms Isolated from Refinery Wastewaters. *Journal of Applied Biological Sciences* 3: 148 – 153.
- YEO A. y H. Meng. 2005. Inhibition of *Clostridium perfringens* by a Novel Strain of *Bacillus subtilis* Isolated from the Gastrointestinal Tracts of Healthy Chickens. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 4185 – 4190. 

Este artículo es citado así:

Palacios-López, O. A., M. O. González-Rangel, B. E. Rivera-Chavira, G. V. Nevárez-Moorillón. 2011: *El papel de los antimicrobianos en la estructura de las comunidades microbianas en la naturaleza*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 5(1): 1-8.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

OSKAR ALEJANDRO PALACIOS LÓPEZ. Cursó la licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), obteniendo el título de Químico Bacteriólogo Parasitólogo y recientemente obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Biotecnología de la misma Institución. El trabajo de tesis de licenciatura lo realizó en la búsqueda de indicadores de contaminación biológica por aguas residuales en suelos, y en su trabajo de maestría realizó también estudios relacionados con indicadores de contaminación biológica y bacterias multirresistentes como indicadores de urbanización en agua y suelo.

MARÍA OLGA GONZÁLEZ RANGEL. Es egresada de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), y realizó estudios de Maestría en Administración en la Universidad de Monterrey. Se ha desempeñado por más de 30 años, como docente de la Facultad de Ciencias Químicas, en donde ha fortalecido el área de enseñanza en Microbiología. Se ha especializado en el área de Microbiología Clínica, y ha participado en la formación de estudiantes de licenciatura y maestría en temas de Microbiología diagnóstica. La maestra González también ha ocupado diversos cargos en la administración universitaria, en donde se desempeñó como Secretaria del Sindicato Académico de la UACH y como coordinadora del Colegio de Profesores, entre otros puestos de planeación universitaria.

BLANCA ESTELA RIVERA CHAVIRA. Es egresada de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), y realizó estudios de doctorado en Biología Molecular en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), en la Ciudad de México. Es docente e investigadora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Químicas, UACH, en donde ha desarrollado investigación en el área de epidemiología molecular. Su trabajo de investigación se ha centrado en la epidemiología y multirresistencia de cepas de *M. tuberculosis*, tanto en pacientes como en ambiente, con diagnóstico molecular de tuberculosis; de igual forma, ha trabajado con epidemiología de brucelosis como enfermedad zoonótica, con diagnóstico en humanos y animales. Ha desarrollado también investigación en bacterias multirresistentes, tanto con aislados clínicos como con aislados ambientales. Sus trabajos se han presentado en diversos congresos nacionales e internacionales, y ha dirigido más de quince trabajos de licenciatura y maestría.

GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ MOORILLÓN. Cursó su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), recibiendo el título de Químico Biólogo Parasitólogo. Realizó estudios de doctorado en la University of North Texas con la tesis «Biodegradación de componentes de petróleo contaminantes en aguas y suelos por bacterias del suelo»; en 1995 se le otorgó el grado de Ph.D., especialidad Biología. Ha recibido más de siete distinciones y premios, siendo el más reciente el Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Categoría Profesional. Por su destacada labor científica, ha sido reconocida como Investigador Nacional Nivel I por el Sistema Nacional de Investigadores. Desde 1995 ha sido maestra de la Facultad de Ciencias Químicas (UACH) y su productividad científica incluye treinta y dos artículos en revistas arbitradas; ha editado más de cuatro libros y dirigido más de 60 tesis (licenciatura, maestría y doctorado). La Dra. Nevárez pertenece a diversas sociedades científicas, citándose entre algunas de ellas la American Society for Microbiology, la Society for Microbial Ecology y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.