

## 10. STUDY OF MAGNETOTACTIC BACTERIA IN ALKALINE ENVIRONMENT OF VOLCANIC CRATER LAKES FROM LAS SIETE LUMINARIAS

*Pérez-Vázquez, Miriam-Evelia<sup>1</sup>✉; Zatarain-P., Eva-Cecilia<sup>2</sup>; Valerdi-Negreros, Julio-César<sup>3</sup>; Souza-Brito, Elcia-Margareth<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. <sup>2</sup>Unidad Académica Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán Rosales, México. <sup>3</sup>Ingeniería Ambiental (DI-GCT), Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.

e-mail: <sup>1</sup>✉[miriam-perez.bio@hotmail.com](mailto:miriam-perez.bio@hotmail.com)

### ABSTRACT

*The Magnetotactic Bacterias (MTB) are a group of Gram negative microorganisms that inhabit aquatic environments with microaerobic conditions, including hypersaline and alkaline [4]. These bacteria are capable to migrate through the geomagnetic field, due to the presence of magnetosomes, e.g., structures containing a magnetic mineral that could be of magnetite ( $Fe_2O_3$ ) or greigite ( $Fe_2S$ ) [11]. In Valle de Santiago, Guanajuato there is a complex of crater-lakes with the potential of being an idyllic habitat for MTB. The main objective of this work was to verify the presence of MTB in two of these lakes: Rincón de Parangueo and San Nicolás de Parangueo. The sediment samples were collected of these lakes for the observation and isolation of MTB, beside the physicochemical, microbiological and chemical characteristics were measured. After observation of magnetotactic behavior, which was recorded in video-microscopy, the samples were inoculated in semisolid medium to future isolation of the MTB. This is the first work to observe the MTB on the crater-lake of Guanajuato state.*

**Keywords:** *Biohecnology, Environmental bioprospect, Magnetotactic bacteria, Magnetotactic behavior.*

### RESUMEN

Las bacterias magnetotácticas (MTB) son un grupo de microorganismos Gram negativas que habitan ambientes acuáticos con condiciones microaeróbicas, incluyendo hipersalinos y alcalinos [4]. Estas bacterias son capaces de migrar a través del campo geomagnético, debido a la presencia de magnetosomas, por ejemplo, estructuras que contienen un mineral magnético que podría ser de magnetita ( $Fe_2O_3$ ) o greigita ( $Fe_2S$ ) [11]. En Valle de Santiago, Guanajuato hay un complejo de lagos-cráteres con el potencial de ser un hábitat idílico para MTB. El principal objetivo de este trabajo fue verificar la presencia de MTB en dos de estos lagos: Rincón de Parangueo y San Nicolás de Parangueo. Las muestras de sedimentos fueron recolectados de estos lagos para la observación y el aislamiento de MTB, al par se midieron las características físico-químicas, microbiológicas y químicas. Después de la observación de la conducta magnetotáctica, que fue grabado en vídeo-microscopía,

las muestras se inocularon en medio semisólido para el futuro aislamiento de MTB. Éste es el primer trabajo de observación de MTB en el lago-cráter del estado de Guanajuato.

**Palabras clave:** *Biotecnología, Bioprospección Ambiental, bacterias magnetotáticas, comportamiento magnetotático.*

## INTRODUCCIÓN

Las bacterias magnetotáticas son un grupo de microorganismos Gram negativos que habitan ambientes acuáticos poco profundos, sobre todo hipersalinos y alcalófilos en condiciones de microaerofilia [4,1]; además son capaces de orientarse y migrar a lo largo de las líneas del campo geomagnético, éste comportamiento recibe el nombre de magnetotaxia y se basa en la presencia de magnetosomas, estructuras internas rodeadas de una membrana lipoproteica que contienen un mineral magnético, ya sea magnetita (óxido de hierro,  $Fe_3O_4$ ) o greigita (sulfuro de hierro,  $Fe_3S_4$ ) [4,11]. Las bacterias magnetotáticas constituyen un grupo heterogéneo de procariontes pertenecientes al reino Bacteria, con morfologías muy diferentes, pudiendo presentarse como cocos, bacilos, vibrios o espirilos [4]. Además son un interesante grupo, puesto que su ecofisiología las emparenta con las bacterias que pudieron vivir en los ambientes microóxicos del Arqueano antiguo en la Tierra (entre 3900 y 3500 millones de años) [11]; éstos organismos se han encontrado en elevada densidad poblacional en la zona de transición óxico-anóxica de marismas, agua salobres, pantanos, ciénagas, estanques de oxidación de aguas residuales y en aguas termales [4]. Las propiedades magnéticas de la magnetita bacteriana, hacen que éste mineral sea

usado en múltiples aplicaciones biotecnológicas, que van desde la fabricación de discos duros y la elaboración de nuevos materiales para ingeniería [10,4]; en biomedicina, para el transporte de fármacos a través del torrente sanguíneo y en las estrategias hipertérmicas contra el cáncer [3,8]; hasta agente de contraste en resonancia magnética nuclear, o como un geomarcador, para intentar demostrar la presencia de una antigua vida microscópica en Marte [13,9]. Sin embargo en la actualidad esta alternativa biológica para la producción de magnetita no se ha explotado a escala comercial, principalmente debido a problemas relacionados con su aislamiento y cultivo masivo [4,11]. En el Valle de Santiago, Guanajuato, hay un conjunto de lagos-cráter con potencial de ser hábitat idóneo para estas bacterias. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo fue verificar la presencia de bacterias magnetotáticas en dos de estos lagos: Rincón de Parangueo y San Nicolás de Parangueo.

## METODOLOGÍA

Los lagos cráter seleccionados para el estudio, se encuentran ubicados en la porción sur del estado de Guanajuato, muy cerca de su colindancia con el Estado de Michoacán. El primero, Rincón de Parangueo con un pH básico y una elevada concentración de sales, principalmente: carbonato y bicarbonato de so-

dio ( $\text{NaHCO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) y sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), se encuentra a  $20^\circ 25' \text{ N} - 101^\circ 15' \text{ W}$  y 1700 m s.n.m. Y el segundo, San Nicolás de Parangueo con un pH casi neutro y una concentración de sales en agua y sustrato normales, se encuentra a  $20^\circ 23' \text{ N} - 101^\circ 15' \text{ W}$  y 1700 m s.n.m. [5,12]. Para efectuar las investigaciones de Bacterias Magnetotácticas presentes en los cráteres volcánicos, se llevó a cabo una visita a los sitios de muestreo para registrar sus características físico-químicas, además de recuperar sedimento y agua. En el cráter Rincón de Parangueo nos encontramos con dos lagunas a las que nos referiremos como Laguna Chica (LC) y Laguna Grande (LG) puesto que de ambas se tomaron muestras y se realizaron las pruebas por separado. Se hizo uso del soplete portátil, guantes de látex y espátulas de acero para mantener un ambiente estéril durante el muestreo. En cada una de las lagunas, el sedimento recuperado se guardó en: 2 frascos de penicilina, de los cuales 1 fue destinado al cultivo de bacterias anaerobias y el otro para el cultivo de bacterias aerobias, y en 1 tubo falcon de 50 mL para destinarlo a pruebas de microbiología.

Mediante el uso de botas de hule y un azadón se obtuvo sedimento de la interfase óxico-anóxica (aproximadamente a 30 cm de profundidad) y se guardó en un frasco de cristal con capacidad de 1 Lt con tapa de rosca y boca ancha. Además, se llenaron con agua de la orilla de cada sitio visitado botellas de cristal de cuello largo con capacidad de 750 mL y frascos de 350 mL, para la elaboración de los medios de cultivo y pruebas bioquímicas. Al terminar las actividades en campo, en el laborato-

rio se llevó a cabo la preparación y refrigeración de las muestras: Los frascos de penicilina se lacraron (a los frascos destinados a cultivos de bacterias anaerobias se les extrajo el oxígeno mediante la inyección de nitrógeno). Todas las muestras destinadas a las pruebas microbiológicas de Número más Probable (NMP) y Unidad Formadora de Colonias (UFC) se envolvieron en papel aluminio para guardarlas en oscuridad a  $4^\circ \text{C}$  hasta el momento de su uso. Los frascos de 1Lt con sedimento para la Bioprospección de bacterias magnetotácticas, se envolvieron en papel aluminio y se almacenaron con la tapa sobrepuesta (para conservar las condiciones de micro-aerofilia) en una caja de cartón a temperatura ambiente para posteriormente realizar con ellos la bioprospección de bacterias magnetotácticas.

Por otro lado, el agua recuperada en las botellas de cuello alto fue sometida a varias filtraciones: La primer filtración es mediante el uso de filtros para café, la segunda es mediante papel filtro y, finalmente el líquido resultante se hace pasar por filtros Millipore de  $0.45 \mu\text{m}$ .

Para intentar aislar y observar bacterias magnetotácticas se utilizó el procedimiento propuesto por el Dr. Ulysses Garcia Casado Lins de la Universidad Federal de Rio de Janeiro, y la metodología detallada en el Volumen 2 del libro: *"The Prokaryotes. Ecophysiology and Biochemistry"* [2]. Se marcaron los polos Norte y Sur de los imanes de neodimio mediante el uso de una brújula. En la interfase oxico-anoxica generada en el frasco de la muestra colectada se colocó el imán con el polo norte por 30min. Transcurrido el tiempo, en un ambiente esteril, se recuperó una alicuota de 1

mL, la cual fue transferida a un tubo eppendorf<sup>®</sup>, se le colocó nuevamente el polo norte de un imán de neodimio, esta vez por 20 min. Transcurrido el tiempo, con una jeringa para insulina se recuperaron aproximadamente 700  $\mu\text{L}$  de la interfase donde estaba el imán. En campana de flujo laminar se preparó un capilar que consistió en una pipeta Pasteur cortada (aproximadamente a 7mm antes del comienzo de la parte angosta), con la punta sellada al fuego y con un tapón de algodón estéril. Con la jeringa de insulina y con una aguja lumbar de  $0.40 \times 119\text{mm}$ , se inyectó en el fondo del capilar la muestra recuperada, cuidando de no dejar burbujas de aire dentro. El capilar con la muestra, se colocó dentro de un electro imán con la parte más angosta apuntando al polo norte durante 10min. El electroimán estaba alimentado con una pila de 1.5 V que generaba un campo magnético paralelo a la resistencia. Una vez cumplido el tiempo, en la campana de flujo laminar se rompió con las manos la punta del capilar (dejando aproximadamente 2cm de punta). Con una jeringa nueva de 1mL se recuperó la muestra de la punta que estuvo orientada hacia el polo norte. En un cubre objetos se colocó una pequeña gota de muestra junto con una gota de agua estéril del sitio para su posterior observación en microscopio óptico. (El comportamiento magnetotáctico se registró con video-microscopía). El resto de la muestra recuperada del capilar sirvió de inóculo para un medio semisólido, del cual posteriormente se hicieron diluciones para el aislamiento de las mismas. Para la Bioprospección de bacterias magnetotácticas se preparó un medio de cultivo que contenga: 27.25 mL de Agua

del Sitio filtrada y estéril + 2.75 mL de Agar Bacteriano + 30  $\mu\text{L}$  de cada compuesto del Medio Mínimo del Sitio + 30  $\mu\text{L}$   $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  1M.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambos lagos son cuerpos de agua oligotróficos, San Nicolás resultó ser un lago-cráter de pH neutro, a diferencia de éste las dos lagunas de Rincón de Parangueo son un ambiente de pH básico y halófilo, con muy bajas concentraciones de fosfato y bacterias entéricas que se desarrollan mejor en medios sólidos que líquidos, tal como se muestra en la Tabla 10.1.

Con respecto a las bacterias magnetotácticas, se logró observarlas así como registrar su comportamiento magnético mediante video-microscopía. Se logró generar la interfase óxido-anóxica de los medios semisólidos para Rincón de Parangueo (Figura 10.1); sin embargo para San Nicolás de Parangueo hasta el momento se desconocen las cantidades necesarias para lograr la consistencia adecuada del medio, posiblemente por interferencia del pH, la diferencia de características físico-químicas o por necesitar una concentración distinta de agarosa, además no se pudo observar la formación de colonias debido al corto tiempo de incubación de 50 días. Por otro lado, logrando encontrar las condiciones idóneas del medio es posible la obtención de bacterias magnetotácticas de estos lagos puesto que Lefèvre y colaboradores (2011) lograron aislar bacterias

Tabla 10.1: Resultados de las pruebas fsico-quimicas, bioquimicas y microbiolgicas de San Nicols de Paranguero, Laguna Chica de Rincn de Paranguero y Laguna Grande de Rincn de Paranguero.

	San Nicolás	Rincón de Paranguero L.C. <sup>1</sup>	Rincón de Paranguero L.G. <sup>2</sup>
<b>Temperatura</b>	32.0 C – 35.0 C	26.5 – 28.0 C	27.4 – 28.0
<b>Salinidad</b>	1	11	35
<b>pH</b>	7.80	10.29	10.30
<b>Nitrato mg/L</b>	0.75	22.60	18.45
<b>Amonio mg/L</b>	0.08	0.07	0.12
<b>Fosfato mg/L</b>	1.04	Debajo del rango	0.06
<b>NMP<sup>3</sup> (líquido)</b>	10 <sup>6</sup> células/ml	10 <sup>2</sup> células/ml	10 <sup>2</sup> células/ml
<b>UFC<sup>4</sup> (sólido)</b>	10 <sup>6</sup> células/ml	10 <sup>4</sup> células/ml	10 <sup>4</sup> células/ml

<sup>1</sup> L. C. – Laguna Chica

<sup>2</sup> L. G. – Laguna Grande

<sup>3</sup> NMP – Número Más Probable

<sup>4</sup> UFC – Unidad Formadora de Colonias

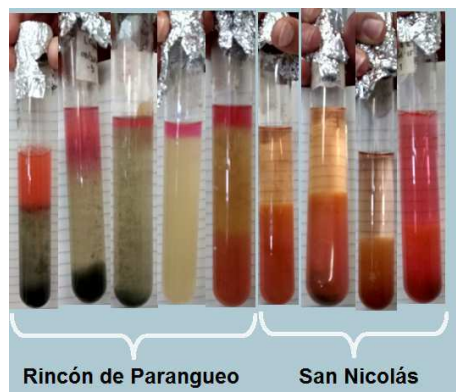


Figura 10.1: Fotografías de algunos de los medios semi-sólidos realizados, donde el color rosa de las muestras de Rincón de Paranguero indica la parte óxica del medio y la sección verde corresponde a la parte anóxica. En las muestras de San Nicolás se observa que el medio es casi traslucido y la fase óxico-anóxica se encuentra indefinida.

magnetotácticas de un manantial de agua salobre en el Parque Nacional Death Valley , California , EE.UU., y encontraron que la cepa BW -1, fue capaz de biomineralizar magnetita o greigite dependiendo

de las condiciones de cultivo; así como enocntrarón que la cepa magneto-ovoide MO-1 creció en la zona de transición-óxica anóxica en un medio mínimo [6,7].

## CONCLUSIONES

Se realizó trabajo de campo, obteniendo muestras para estudiar las bacterias magnetotácticas. Se caracterizaron, química y microbiológicamente las muestras colectadas. Se logró registrar en video-microscopía el movimiento de bacterias magnetotácticas influenciadas por el campo magnético de imanes de neodimio, tales bacterias fueron empleadas como inóculos para medios semisólidos, esperando su exitoso aislamiento. Debido al corto tiempo de incubación de 50 días, no se pudo observar la formación de las colonias.

## AGRADECIMIENTOS

Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DI-CGT) Universidad de Guanajuato, Guanajuato México. Dra. Elcia Margareth Souza Brito

## REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio). 2012. La biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (iee). México.
- [2] Dworkin, M. (Editor-in-Chief), Falkow S., Rosenberg E., Schleifer, K. H., & Stackebrandt, E. (2006). *The Prokaryotes*. Third Edition, V2: Ecophysiology and Biochemistry. Springer. E.E.U.U.
- [3] Garcia Diez, A. (2014). Aplicaciones de nanoparticulas de magnetita de origen bacteriano.
- [4] Guerrero, R., & Berlanga, M. (2000). Bacterias magnetotáticas, hoy y hace 3800 millones de años. *Actualidad SEM* (29), 14-20.
- [5] Jiménez, B., Marín, L., Morán, D., Fuentes, O. A. E., Alcocer, J., & Martínez, V. H. (Eds.). (2004). *El agua en México vista desde la academia* (No. 351.82325 A3). Academia Mexicana de Ciencias.
- [6] Lefèvre, C. T., Bernadac, A., YuZhang, K., Pradel, N., & Wu, L. F. (2009). Isolation and characterization of a magnetotactic bacterial culture from the Mediterranean Sea. *Environmental microbiology*, 11(7), 1646-1657.
- [7] Lefèvre, C. T., Menguy, N., Abreu, F., Lins, U., Pósfai, M., Prozorov, T., ... & Bazylnski, D. A. (2011). A cultured greigite-producing magnetotactic bacterium in a novel group of sulfate-reducing bacteria. *Science*, 334(6063), 1720-1723.
- [8] Matsunaga, T. (1991) Applications of bacterial magnets. *Trends Biotechnol.* 9, 9195.
- [9] McKay, D. S., Gibson Jr., E. K., Thomas-Keprta, K. L., Vali, H., Romanek, C. S., Clemett, S. J., Chillier, X. D., Maechling, C. R. & Zare, R. N. (1996) Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. *Science*, 273, 924930.
- [10] McMichael, R. D., Shull, L. J., Swartzendruber, L. H., Bennett, R. E. & Walson, J. (1992) Magnetocaloric effect in superparamagnets. *J. Magn. Magn. Mater.*, 111, 2933.
- [11] Pérez-González, T., Valverde-Tercedor, C., & Jiménez-López, C. (2010). Biomineralización bacteriana de magnetita y aplicaciones. *Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía*, 7, 58-74.
- [12] Vargas, M., Kashefi, K., Blunt-Harris, E. L. & Lovley, D. R. (1998) Microbiological evidence for Fe(III) reduction on early Earth. *Nature*, 395, 65-67.
- [13] Wunderbaldinger, P., Josephson, L. & Weissleder, R. (2002) Tat peptide directs enhanced clearance and hepatic permeability of magnetic nanoparticles. *Bioconjugate Chem.*, 13, 264 -268.



UNIVERSIDAD  
DE GUANAJUATO

Campus Guanajuato  
División de Ingenierías



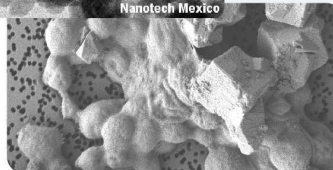
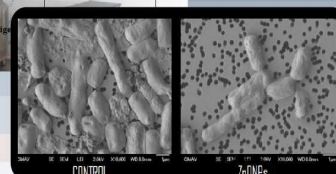
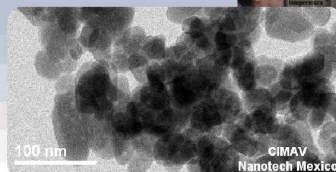
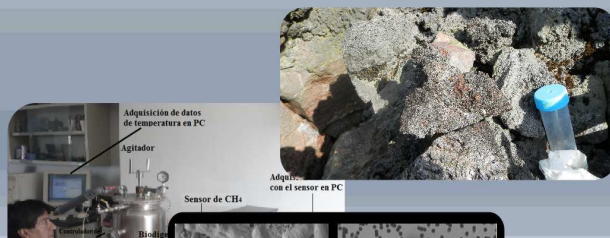
# 3er. Simposio Internacional de Tecnología y Biotecnología aplicada a la resolución de problemas ambientales

31 de Agosto a 2 de Septiembre de 2015

SIBA, el ambiente de discusión y de intercambio de conocimiento entre expertos, profesores y estudiantes, en el área de procesos aplicados en la Ingeniería Ambiental.



- Metodologías Innovadoras aplicadas a Bioprocesos
- Tratamiento de Residuos
- Tecnologías Aerobias y Anarobias
- Energía
- Bioprocesos
- Biorremediación
- Biotecnología
- Nanotecnología
- Tratamiento de Agua



Organización:



Cuerpo Académico de  
Bioingeniería, Biotecnología y  
Gestión Ambiental

Departamento de Ingeniería Civil  
División de Ingenierías  
Campus Guanajuato

[www.ugto.mx](http://www.ugto.mx)

<http://www.di.ugto.mx/SIBA>



# “TECNOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES”

ISBN: 978-607-441-446-2



D.R. © 2016 Universidad de Guanajuato

Memorias del Tercer Simposio Internacional de Bioingeniería Ambiental,  
organizado por el “Grupo de investigación de Bioingeniería, Biotecnología y  
Gestión Ambiental”

Guanajuato, Guanajuato. México  
31 de Agosto a 2 de Septiembre de 2015



**“TECNOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA  
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES”**

Primera edición 2016

D.R. © 2016 Universidad de Guanajuato  
Lascuráin de Retana 5, Zona Centro.  
Guanajuato, Gto. CP. 3600

Edición: Grupo de Investigación “Bioingeniería, Biotecnología y Gestión Ambiental”  
Julio César Valerdi Negreros  
Arodi Bernal Martínez  
Gemma Cervantes  
Germán Cuevas Rodríguez  
Sergio Antonio Silva Muñoz  
Elcia Margareth Souza Brito

ISBN: 978-607-441-446-2

## Índice

- 1** | CAPÍTULO 1  
PREFACIO
- 3** | CAPÍTULO 2  
LA BIOINFORMÁTICA Y SUS APLICACIONES EN LA ECOLOGÍA MICROBIANA  
Bertin, P.
- 9** | CAPÍTULO 3  
EFFECT OF CuONPs OVER BACTERIAL COMMUNITIES OF AGRICULTURAL SOIL  
Concha-Guerrero, Sandra-I.; Souza-Brito, Elcia-Margareth; Gassie, C.; Bertin, P.; Caretta, César-A.; Durán, Robert; Orrantia-Borunda, Erasmo
- 19** | CAPÍTULO 4  
MODELAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE CABRA Y DE CONEJO  
M.-García, Martín-T.; G.-García, Jessica-J.; M.-Ramírez, Jose-L.
- 27** | CAPÍTULO 5  
DEGRADACIÓN DE LIGNINA MEDIANTE EL PROCESO FENTON  
Olivo-Toledo, Jenifer; Martínez-Herrera, Gabriel
- 33** | CAPÍTULO 6  
PHYSIOLOGIC CHARACTERIZATION OF ANAEROBIC STRAINS ISOLATED FROM EXTREME SITES  
Pérez-Bernal, María-Fernanda; Souza-Brito, Elcia-Margareth; Cuevas-Rodríguez, Germán; Hirschler-Réa, Agnès; Guyoneaud, Rémy
- 41** | CAPÍTULO 7  
AISLMIENTO DE BACTERIAS ANAÉROBICAS DE FUMAROLAS DEL VOLCÁN PARICUTÍN  
Romero Nuñez, Victor-Manuel; Souza-Brito, Elcia-Margareth; Caretta, César-Augusto

- 47** | CAPÍTULO 8  
ESTUDIO FILOGENÉTICO DE CEPAS AISLADAS DEL LAGO-CRÁTER  
"RINCÓN DE PARANGUEO"  
Rivera-Martínez, Laura-Guadalupe; Bertin, Pierre; Caretta, César-Augusto;  
Guyoneaud, Rémy; Goni, Marisol; Malm, Olaf; Valerdi-Negreros, Julio-  
César; Souza-Brito, Elcia-Margareth
- 55** | CAPÍTULO 9  
ESTUDIO DE BACTERIAS MAGNETOTÁCTICAS EN LAGOS-CRÁTER:  
CÍNTORA Y LA JOYA  
Zatarain-P., Eva-Cecilia; Pérez-Vázquez, Miriam-Evelia; Valerdi-Negreros,  
Julio-César; Brito-S., Elcia-Margareth
- 63** | CAPÍTULO 10  
STUDY OF MAGNETOTACTIC BACTERIA IN ALKALINE ENVIRO-  
MENTS OF VOLCANIC CRATER LAKES FROM *LAS SIETE LUMI-  
NARIAS*  
Pérez-Vázquez, Miriam-Evelia; Zatarain-P., Eva-Cecilia; Valerdi-Negreros,  
Julio-César; Souza-Brito, Elcia-Margareth
- 69** | CAPÍTULO 11  
TOXICIDAD DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN AISLA-  
DOS DE SUELOS AGRÍCOLAS  
Rico-Herrera, Mauricio-I.; Concha-Guerrero, Sandra-I.; Orrantia, E.; Luna-  
Velazco, Antonia; Souza-Brito, Elcia-Margareth
- 77** | CAPÍTULO 12  
TOXICIDAD DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC (ZnO)  
EN LEVADURAS PRESENTES EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES  
González-Paniagua, Yutzil; Cervantes-Avilés, Pabel-A.; Concha-Guerrero,  
Sandra-I.; Luna-Velazco, Antonia, Souza-Brito, Elcia-Margareth
- 87** | CAPÍTULO 13  
CONCRETO HIDRÁULICO CON PET DE BOTELLAS  
Chávez-Valencia, L.-E.; Ruiz-Jaime, C.-L.; Sánchez-Cadena, L.-E.

- 91** | CAPÍTULO 14  
PAPERCRATE  
Chávez-Valencia, L.-E.; Saucedo-Estrada, C.-A.; Mendoza-Puga, L.-E.
- 95** | CAPÍTULO 15  
MICROORGANISMOS NATIVOS EN UN PROCESO DE BIOLIXIVIACIÓN  
PARA RECUPERACIÓN DE PLATA A PARTIR DE RELAVES MINEROS  
CON ALTO CONTENIDO DE MANGANESO  
Huerta-Rosas, Brenda; Cano-Rodríguez, I.; Gamiño-Arroyo, Z.; Gómez-  
Castro, F.-I.; Carrillo-Pedroza, F.-R.; Romo-Rodríguez, P.; Gutiérrez-  
Corona, F.; Santiago-Sernas, P.-I.
- 103** | CAPÍTULO 16  
PURIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE SECRETABLE  
GOX ENZYME FROM Ed8 STRAIN OF *A. TUBINGENSIS*  
Flores-Amaro, Oscar-Abraham; Romo-Rodríguez, Pamela; Corrales-  
Escobosa, Alma-Rosa; Wrobel, Kazimierz; Wrobe, Katarzyna; Villagómez-  
Castro, Julio-Cesar; Gutiérrez-Corona, Félix