



UNIVERSIDAD
DE GUANAJUATO

Campus Guanajuato
División de Ingenierías



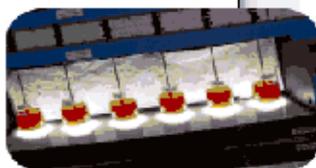
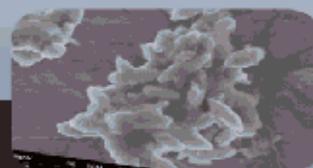
2do. Simposio Internacional de Bioingeniería Ambiental - SIBA

24 al 26 de septiembre del 2014

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



- Metodologías Innovadoras aplicadas a Bioprocesos
- Tratamiento de Residuos
- Tecnologías Anaerobias y Aerobias
- Energía
- Bioprocesos
- Nanotecnología
- Bioremediación
- Biotecnología
- 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.di.ugto.mx/SIBA>



“BIOINGENIERÍA AMBIENTAL”

ISBN: 978-607-441-330-4



DR. © 2014 Universidad de Guanajuato

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

Guanajuato, Guanajuato. México

24 al 26 de Septiembre de 2014

“BIOINGENIERÍA AMBIENTAL”

Primera edición 2014

D.R.© 2014 Universidad de Guanajuato
Lascaraín de Retana 5, Zona Centro.
Guanajuato, Gto. CP. 36000

Edición: Grupo de Investigación “Bioingeniería, Biotecnología y Gestión Ambiental”

Arodí Bernal Martínez
Germán Cuevas Rodríguez
Sergio Antonio Silva Muñoz
Elcia M. Souza Brito

ISBN: 978-607-441-330-4

ÍNDICE

LA PARTICIPACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA EN EL DESARROLLO COMUNITARIO

Felipe Macías Gloria, Patricia Campos Rodríguez y Eloy Juárez Sandoval..... 1

BIOSORPTION OF CU (II) AND PB (II) IN AQUEOUS SOLUTIONS USING PACKED COLUMNS WITH BIOSOLIDS (B) AND PYROLYSIS DERIVED BIOCHAR (BC)

Ortiz-Prieto Jorge A.^{1,2}, Acosta-Slane Damaris¹, Lozoya-Márquez Luis A.¹, Gómez-Vargas
Ramón¹, González-Sánchez Guillermo¹..... 14

CARACTERIZACIÓN DE UN DESECHO AGROINDUSTRIAL MEXICANO PARA SU EMPLEO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO

Víctor Jiménez-Quero[□], Pedro Montes-García..... 23

DESARROLLO DE UN BIOPROCESO ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA Y LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Luz Brenda Montserrat Crespo, Arodí Bernal Martínez y Germán Cuevas Rodríguez 30

REMOCIÓN DE HIERRO DISUELTO EN AGUA UTILIZANDO PET MODIFICADO QUÍMICAMENTE COMO AGENTE ADSORBENTE

T. V. Cervantes Melesio³, F. A. Horta Rangel³, M. A. Ramírez Morales¹, G. Cruz Jiménez¹,
R. Navarro Mendoza² U. Morales Álvarez³ [□]..... 37

SECADO DE BIOMASA ALGAL EN SECADOR SOLAR

Moreno Funes José Saul, Davalos Navarrete Siikmine, Valle Moreno Andrés, Cervantes
Torre-Marín Gemma* 44

ESTIMACIÓN RESPIROMÉTRICA DEL RENDIMIENTO HETERÓTROFO DEL MODELO ASM1 PARA UNA PTAR EN CHIAPAS

Valeria Zuarth Coutiño¹, Cristina Blanco González¹, Josué Chanona Soto¹ y Gustavo Yáñez
Ocampo¹..... 52

CARACTERIZACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS NATIVAS DE UN RESIDUO INDUSTRIAL HIPERSALINO E HIPERALCALINO, CON ALTO CONTENIDO DE CROMO Y OTROS METALES

Jesús Fernando López Vázquez¹, Pamela Romo Rodríguez¹, J. Felix Gutiérrez Corona¹ ... 57

MODELADO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Javier Ulises Hernández-Beltrán¹, Ivette Michelle Navarro-Gutierrez¹, Karla Cervantes-
Quintero¹, Héctor Hernández-Escoto¹ [□]..... 63

ELABORACIÓN DE CELDAS SOLARES TIPO GRÄTZEL EMPLEANDO
SENSIBILIZADORES DE DIFERENTE PROCEDENCIA

Mónica Cedillo Alaniz¹□, Juan Carlos Baltazar Vera², Rosalba Fuentes Ramírez³ 69

CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA UNIDAD
PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA DEL IPN

Andrés Valle Moreno, Miguel Ángel Tapia Bustos, Cristina Ortega Nonoal, Gemma
Cervantes Torre-Marín* 74

CONCRETE WITH RAW POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

Luis Elias Chavez Valencia¹, Claudia Hernandez Barriga², Miguel Angel Manrique Ibarra³,
Antonio Castro Lozano⁴ 83

BIOCOMPATIBILIDAD DE COMPOSITOS ÓSEOS - OSTEOLASTOS HUMANOS

M. Sabanero López¹□, L. L. Flores Villavicencio¹, Z. Miranda Rodríguez¹, G. Barbosa
Sabanero², C. Piña Barba³ 86

COMPARACIÓN ENTRE UNA MEMBRANA PLANA Y UNA MEMBRANA DE FIBRA
HUECA EN LA ELIMINACIÓN DE MACRONUTRIENTES PRESENTES EN AGUA
RESIDUAL SINTÉTICA EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO

Marco A. Silva, Germán Cuevas□ 90

ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
TEXTIL EN LA REGIÓN SUR DEL ESTADO DE GUANAJUATO

J. Merced Martínez Rosales¹, Miriam Rocío Contreras García¹, Antonio Pérez Nieto² y
Gabriela Arroyo Figueroa² 97

PET MODIFICADO QUÍMICAMENTE COMO AGENTE ADSORBENTE DE MN(II) EN
MEDIO ACUOSO

M. M. Marmolejo Lara², L. Arroyo Álvarez¹, F. A. Horta Rangel², M. A. Ramírez Morales¹, G.
Cruz Jiménez¹, U. Morales Álvarez²□ 102

RECICLAJE DE CELULARES POR SOLVÓLISIS PARA RECUPERAR METALES

Lorena Eugenia Sánchez Cadena¹*, Zeferino Gamiño Arroyo², Mario Alberto González Lara³,
Demetrio Quiroz Q.⁴, Oscar Coreño A.⁵ 109

REMOCIÓN DE CR(VI) EN BAJAS CONCENTRACIONES PRESENTE EN AGUA
MEDIANTE EL EMPLEO DE BIOMASA DE ORIGEN NATURAL

Pablo Carmona Medina¹, Juan Jesús Serafín Muñoz¹, Francisco Agustín Vidó García¹,
Francisco Javier Acevedo Aguilar², Leticia López Martínez² 115

CARACTERIZACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS NATIVAS DE RESIDUOS
INDUSTRIALES CON ALTO CONTENIDO DE METALES

Chávez Elías Amelia Fabiola¹, Romo Rodríguez Pamela¹, Gutiérrez Corona J. Félix¹□ 121

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Brett González ¹ , Alejandra Cruz ¹	128
EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>TRAMETES VERSICOLOR</i> EN PRESENCIA DE FURADAN®, BOSCALID (CANTUS)® Y QUINTACENO® Fátima Ojeda-Rodríguez ¹ , Héctor G. Nuñez ² , Blanca E. Gómez ³ , Noé Saldaña ⁴ , Graciela M. L. Ruiz-Aguilar ^{1*}	134
TRATAMIENTO VÍA FENTON DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA Paola Abigail Martínez Aldape ¹ , Carlos J. Escudero S. ²	139
EFFECT OF THE WALNUT SHELL PECANERA IN GYPSUM Luis Elías Chávez Valencia ¹ , Claudia Hernández Barriga ² , Martín Alejandro Moreno Hernández ³ , Cesar Leonardo Ruiz Jaime ⁴	144
ISOLATION OF SULFATE-REDUCING BACTERIA FOR POTENTIAL BIOREMEDIATION OF METAL-CONTAMINATED EFFLUENTS María Fernanda Pérez Bernal ^{1*} , Jéssica Jazmín Gómez Marmolejo ¹ , Elcia M.S. Brito ¹ , Germán Cuevas Rodríguez ¹	148
EVALUACIÓN DE UN CONSORCIO BACTERIANO Y UN EFLUENTE DE BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE LOMBRICOMPOSTA Elsa A. Guerrero, Héctor G. Nuñez, Víctor Olalde-Portugal, Vicente J. Álvarez, Rafael Veloz Graciela M. L. Ruiz-Aguilar*	153
APLICACION OF MICROCULTURE FOR BACTERIAL ISOLATION FROM INDUSTRIAL RESIDUE CONTAMINATED BY HEXAVALENT CHROMIUM Mariana Pérez Medina ^{1□} , Carolina Alejandra Martínez Gutierrez ^{2□} , Reyna Edith Padilla-Hernández ³ , Julio Cesar Valerdi Negreros ¹ , Germán Cuevas Rodríguez ⁴ , Elcia M.S. Brito ^{4□}	158
AISLAMIENTO DE BACTERIAS ANAEROBIAS DEL LAGO ALKALINO DEL CRÁTER DEL RINCÓN DE PARANGUEO Rivera Martínez, Laura Guadalupe ^{1□} , Cuevas-Rodríguez, Germán ² , Malm Olaf ³ , Brito Elcia M. S. ²	163
USING TILLANDSIA <i>USNEOIDES</i> AS BIOMARKER OF HEAVY METALS IN THE ATMOSPHERE: GUANAJUATO TUNELS Pedro Antonio Zárate-Santoyo ¹ , Elcia M.S. Brito ¹ , Adan Lino ² , Rodrigo Meire ² , Olaf Malm ² , Joao P.M. Torres ² , Germán Cuevas-Rodríguez ¹	169
ANAEROBIC BIOTRANSFORMATION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN BATCH REACTORS Alba América Moreno González, Sergio Antonio Silva Muñoz, Elcia Souza Brito, Germán Cuevas Rodríguez, Arodí Bernal Martínez	175

ISOLATION OF SULFATE-REDUCING BACTERIA FOR POTENTIAL BIOREMEDIATION OF METAL-CONTAMINATED EFFLUENTS

María Fernanda Pérez Bernal^{1}, Jéssica Jazmín Gómez Marmolejo¹, Elcia M.S. Brito¹, Germán Cuevas Rodríguez¹*

¹División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México
Av. Juárez No. 77; Zona Centro, Guanajuato, Guanajuato, C.P. 36000.

ABSTRACT

Sulfate-reducing bacteria (SRB) are obligate anaerobes characterized by their ability to reduce sulfates to sulfides with simultaneous oxidation of organic substrates [1]. The SRB play an important role in the development of bioremediation technologies for wastewater treatment, which has been studied extensively in the last decades [2,3]. Biogenic sulfides can be used to precipitate metals, the precipitated metal-sulfides can be easily recovered and reused. The operation of sulfidogenic bioreactors under acidic conditions has several advantages, since most of the sulfide produced is contained in the gaseous phase, thus facilitating the separation of the sulfide from the effluent [4]. However, most of the SRB are neutrophilic, which limits its application in the treatment of acidic effluents. The aim of this study was to isolate SRB from Los Azufres, Michoacán (model of acidic environment, pH's below 3), for its potential application in the treatment of acidic metal-contaminated effluents. To isolate the SRB the "roll tube" technique [5] was used. A total of 35 colonies were recovered in liquid medium, 6 of them already show evidence of sulfate reducing activity (black precipitate of iron sulfide). The isolation will be verified by microscope observation and then identified by molecular biology techniques.

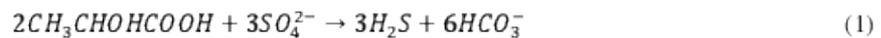
Keywords: *Biotechnology, Sulfate-reducing bacteria, extremophile.*

RESUMEN

Las bacterias sulfato reductoras (BSR) son microorganismos estrictamente anaerobios, caracterizados por su capacidad de reducir sulfatos a sulfuros con oxidación simultánea de sustratos orgánicos [1]. Las BSR juegan un papel muy importante en el desarrollo de tecnologías de bio-remediación de aguas residuales contaminadas con metales, lo cual ha sido estudiado ampliamente en las últimas décadas [2,3]. Los sulfuros biogénicos pueden ser utilizados para la precipitación de metales, luego los sulfuros metálicos pueden ser fácilmente recuperados y reusados. La operación de bioreactores sulfurogénicos bajo condiciones ácidas tiene varias ventajas, ya que la mayoría del sulfuro producido se encuentra en la fase gaseosa, facilitando así la separación del sulfuro del efluente [4]. Sin embargo, la mayoría de las BSR descritas son neutrofílicas. Esto ha limitado su aplicación en el tratamiento de efluentes ácidos, que es una característica casi siempre inherente de efluentes contaminados con metales y metaloides. El objetivo de este estudio fue aislar BSR de los Azufres, Michoacán (modelo de ambiente ácido, pH's menores a 3), para su aplicación potencial en el tratamiento de efluentes contaminados con metales y/o metaloides. Para aislar las BSR se empleó la técnica del "roll tube" o tubo rolando. Se recuperaron un total de 35 colonias en medio líquido, 8 de los cultivos ya presentan evidencia de actividad de sulfato-reducción (precipitado negro de sulfuro de hierro). El aislamiento será verificado por observación al microscopio y luego será identificado filogenéticamente con técnicas de biología molecular.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias sulfato reductoras (BSR) son los organismos claves en la reducción biológica del azufre. La primera evidencia de la actividad de las BSR fue identificada en 1895 por Beijerinck, quien descubrió que el sulfato podría ser reducido a sulfuro por respiración anaeróbica en sedimentos. Estos microorganismos son capaces de utilizar fuentes sencillas de carbono, tal como el lactato, el piruvato, acetato entre otros. En el caso de la oxidación de fuentes de electrones como el lactato, en presencia de sulfatos como aceptor de electrones, se produce sulfuro de hidrógeno y alcalinidad, como se evidencia en la reacción general descrita por la Ec. 1.



Las BSR son anaerobias estrictas siendo necesario para su aislamiento métodos que simulen eficientemente estas condiciones en laboratorio. Una de las técnicas disponibles que ha mostrado éxito en el aislamiento de microorganismos anaerobios estrictos es el de *Roll-Tube* [5]. Esta fue desarrollada por Hungate en la década de 60s y consiste en preparar un tubo herméticamente cerrado, una capa delgada de agar manteniendo en su interior una atmósfera libre de oxígeno. El tubo es sellado con tapones impermeables a gases para garantizar las condiciones de anaerobiosis. La muestra diluida se inocula en el agar ligeramente fluido, e inmediatamente se rota el tubo, que por solidificarse lentamente, se forma una capa de agar sobre la pared del tubo, al mismo tiempo que la muestra se mezcla con el agar. Se pone el tubo para incubarlo, y en la capa de agar se desarrollarán las colonias. Estas colonias se recolectan con ayuda de una aguja estéril, y en atmósfera reductora, transfiriéndolas individualmente a medio líquido; los cultivos son incubados en condiciones anaeróbicas.

En poco más de un siglo de investigación de los microorganismos reductores de azufre, actualmente han identificado más de 120 especies y 40 géneros pertenecientes a 3 filos bacterianos y, a un filo arquea. Las BSR tienen morfología celular variada: bacilo, vibrio, bacilos curvados y coco-bacilos [3]. En general las BSR más conocidas se desarrollan en condiciones ligeramente neutras; tienen un pH óptimo de crecimiento alrededor de 7 y son inhibidas a valores de pH menores a 6.

El uso de BSR para la obtención de sulfuro, ya sea en forma de gas o acuoso, para su aplicación en la precipitación de metales (Ec. 2) es una opción económicamente viable y ha ganado terreno en los procesos hidrometalúrgicos en lugar de la precipitación con hidróxidos. Las razones para que sea preferido se basan en el alto grado de metal removido a pH's relativamente bajos; la naturaleza poco soluble de los precipitados; velocidades de reacción rápidas; características favorables para deshidratarlos y la estabilidad de los metales de sulfuro formados [6]. Además de una baja producción de lodos y la oportunidad de recuperar los metales [7].



M^{2+} = metal de interés [7].

En años recientes se ha reportado actividad de sulfato-reducción en ecosistemas naturales o de ingeniería a bajos pH. Por lo cual el aislamiento de bacterias de sitios con condiciones extremófilas, es de interés para el tratamiento de efluentes ácidos [8]. El objetivo principal de ese trabajo es aislar BSR de un sitio extremo para a continuación, estudiar su potencial aplicación en la bioremediación de efluentes contaminados con metales y metaloides.

MATERIALES Y MÉTODOS

Medio mineral mínimo (MMM). El medio mineral mínimo utilizado en ese trabajo, se preparó a partir del agua del sitio de muestreo, esterilizándola tres veces en autoclave (a 121 °C por 2 horas) con intervalos de 24 h entre cada esterilización y haciéndola pasar por un filtro con tamaño de malla de 0.25 µm.

Medio BSR. El medio se preparó utilizando agua destilada y **MMM** en una proporción 1:1. A este se añadió glicerol, lactato, piruvato y acetato de sodio con una concentración final de 5mM; extracto de levadura (0.05 g/L) , rezarsurina (0.0003 g/L). Se esterilizó y se desgasificó con nitrógeno gas. Una vez frío se adicionó Fe₂SO₄ (1mM); solución de metales traza (1ml/L) y solución de vitaminas (1ml/L), solución selenito (1ml/L).

Medio BSR modificado. Este medio se preparó enriqueciendo el **medio BSR** con KH₂PO₄ (0.25 g/L), MgSO₄×7H₂O (2 g/L), Na₂SO₃ (0.5 g/L), Citrato de Na×7H₂O (0.5 g/L), triptona (10 g/L), (NH₄)₂SO₄ (1 g/L), KCl (0.1 g/L), Ca(NO₃)₂×4H₂O (0.014 g/L), Na₂S₂O₃×5H₂O (0.5 g/L) y Etanol (20mM).

Muestreo e inoculación. Se trabajó con muestras colectadas en un estudio previo del sitio extremo el SPA Los Azufres, ubicado en el sitio geotérmico Los Azufres, Michoacán. En el estudio previo se colectaron muestras superficiales de un tapete microbiano del sitio. De las muestras colectadas se utilizó 1 ml de la suspensión como inóculo para 5 ml de medio BSR. Se incubó a temperatura ambiente hasta observar turbidez o un precipitado negro, que es indicador de presencia de BSR. Se realizó un repique, es decir, se tomó nuevamente 1ml del cultivo y se reinoculó en 10 ml de medio BSR y se incubó por más de 1 mes más o hasta observar turbidez o el precipitado negro. Posterior a esto se inició el aislamiento por medio del Roll-tube.

Aislamiento por Roll Tube. Se utilizaron tubos de ensaye de 20 ml en los cuales se agregó 0.4 g de agar bacteriológico (pre-lavado con agua destilada) y 10 ml de medio BSR. Los tubos se taparon herméticamente con tapones de butil, se esterilizaron y desgasificaron con N₂. Posteriormente se inoculó con diferentes volúmenes de inóculo (500 µL, 300 µL, 200 µL, 100 µL, y 50 µL), luego se rolaron los tubos en baño de hielo/agua hasta solidificar y se incubaron a temperatura ambiente. Al observarse microcolonias aisladas (puntos negros), éstas se recuperaron en medio BSR líquido y se incubaron a temperatura ambiente y en condiciones de anaerobiosis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cultivos de las colonias recuperadas en el estudio anterior fueron observados al microscopio óptico para corroborar que se tratara de cultivos aislados. Sin embargo, en varios se observaron más de 2 morfologías, por lo que en este trabajo se procedió a repetir de nuevo el *Roll-tube* de los cultivos no aislados.

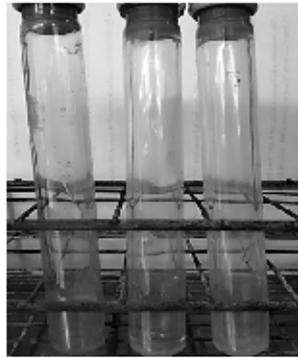


Figura 1. Aislamiento por Roll-Tube

En la figura 1 se muestran los tubos empleados para el aislamiento por Roll-Tube, las microcolonias observadas fueron recuperadas según el procedimiento descrito anteriormente. Se recuperaron un total de 35 colonias que fueron inoculadas en frascos de 20 ml con 10 ml de medio BSR (Fig. 2a). Después de poco más de un mes, no se observó crecimiento en casi ninguno de los cultivos, algunos se tornaron un poco turbios, sin embargo, ninguno presentó evidencia de sulfato-reducción (precipitado negro), por lo cual se hizo una revisión de varios medios empleados para el aislamiento y enriquecimiento de BSR y se modificó el medio BSR (*Medio BSR modificado*). Las modificaciones fueron hechas haciendo una revisión de los medios Fude, Postgate, V9, medio para específico para *Acidithiobacillus* sp. y para *Thiobacillus* sp.



Figura 2. Recuperación de colonias en medio líquido.

a) Medios recién inoculados, b) Medios con presencia de precipitado negro (sulfuro de hierro).

Se agregó 10 ml de medio BSR modificado a los cultivos y una semana después, 2 frascos ya presentaban formación del precipitado negro y en casi todos se observó mayor turbiedad. Hasta el momento en 8 frascos ya se observa precipitado negro (fig. 2b), por lo cual, la modificación al medio tuvo resultados positivos para el enriquecimiento. Debido a la gran diversidad de BSR, varias sustancias pueden ser utilizadas como donadores de electrones para metabolismos particulares. De acuerdo a Hao y colaboradores (2014), se recomienda una mezcla de donadores de electrones o fuentes de carbono para el crecimiento de las BSR, aunque el medio BSR tiene varias fuentes de carbono no hubo buen crecimiento, por lo cual, parte de éxito del medio modificado puede atribuirse a la presencia de etanol, ya que es un sustrato de fácil degradación. Por otro lado, la peptona también pudo tener un efecto positivo al ser empleado para el cultivo de microorganismos de difícil crecimiento.

Los cultivos serán observados con microscopio óptico para verificar que se encuentren aislados. Aunque ya hay presencia de precipitado y turbiedad en la mayoría de los cultivos, la biomasa presente aún no es suficiente para hacer la extracción de ADN y su posterior secuenciación e

identificación. Una vez que haya la biomasa suficiente, se hará el estudio filogenético de los aislados, además se amplificará con PCR utilizando los primers DSR1F/DSR4R, los cuales se dirigen a la mayoría de los genes *dsrAB* que codifican para la enzima reductasa disimilatoria del sulfito y la cual es exclusiva de las BSR, verificándose de igual modo que se trate de sulfato-reductoras.

CONCLUSIÓN

Las BSR son microorganismos de gran importancia, ya que su capacidad para reducir el sulfato a sulfuro puede ser aprovechada para la bioremediación de efluentes contaminados con metales, metaloides y para eliminación de sulfatos. En el presente estudio, el uso de la técnica del *Roll-Tube* fue exitosa para el aislamiento de BSR, ya que se pudieron recuperar 35 microcolonias. Aunque es sabido que las BSR son de lento crecimiento, la modificación al medio BSR tuvo un efecto positivo en el crecimiento de los cultivos, dicho éxito se puede atribuir a la incorporación sobre todo de etanol y peptona. El estudio filogenético y caracterización de los aislados que se realizará posteriormente; esto permitirá proponer y establecer las condiciones óptimas para la aplicación biotecnológica de los microorganismos aislados en el tratamiento de efluentes contaminados con metales y metaloides.

AGRADECIMIENTOS

María Fernanda Pérez Bernal recibe beca de doctorado otorgado por CONACyT; Jéssica Jazmín Gómez Marmolejo recibió beca de licenciatura otorgado por DAIP de la Universidad de Guanajuato; El trabajo hace parte del proyecto BIOMETAL de Innovación Tecnológica de Cooperación Internacional Francia-México, financiado por CONACyT y ANR (No. 188775).

Referencias

- [1] Cao J., Zhang G., Mao Z., Fang Z., Yang C. (2009). Precipitation of valuable metals from bioleaching solution by biogenic sulfides. *Minerals Engineering* 22, 289–295.
- [2] Muyzer G. y Stams J.M. (2008). The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria. *Nature reviews, Microbiology*. 6, 441- 454.
- [3] Hao, T-W., Xiang P-Y., Mackey H.R., Chi K., Lu H., Chui H-K., van Loosdrecht M.C.M., Chen G-H. (2014). A Review of Biological Sulfate Conversions in Wastewater Treatment. *Water Research*, doi: 10.1016/j.watres.2014.06.043.
- [4] Sánchez-Andrea I., Sanz J.L., Bijmans F.M., Stams J.M. (2014). Sulfate reduction at low pH to remediate acid mine drainage. *Journal of Hazardous Materials* 269, 98–109.
- [5] Hungate R. E. and Macy J. (1973), The Roll-Tube Method for Cultivation of Strict Anaerobes *Bulletins from the Ecological Research Committee*, No. 17, *Modern Methods in the Study of Microbial Ecology*. pp. 123-126.
- [6] Lewis A.E. y Hille R. (2006). An exploration into the sulphide precipitation method and its effect on metal sulphide removal. *Hydrometallurgy* 81, 197–204.
- [7] Bhagat M., Burgess J.E., Paula A., Antunes M., Whiteley C.G., Duncan J.R. (2004). Precipitation of mixed metal residues from wastewater utilising biogenic sulphide. *Minerals Engineering* 17, 925–932.
- [8] Alazard D., Joshep M., Battaglia-Brunet F., Cayol J-L., Ollivier B. (2010). *Desulfosporosinus acidiphilus* sp. nov.: a moderately acidophilic sulfate-reducing bacterium isolated from acid mining drainage sediment. *Extremophiles*. Vol. 14, Issue 3, 305-312.