
Reducción de cromo hexavalente y degradación de rojo de metilo por bacterias aisladas de sedimentos del Lago de Chapala, México

C.C. Hernández-Peña^{1,6}, F. Lares-Villa^{1,2}, S. De los Santos-Villalobos³, M.I. Estrada-Alvarado⁴, M.C. Artiaga-Luna⁵, E. Flores-Tavizón⁵, S. Saúl-Solis⁵, M. Domínguez-Acosta⁵ y M.Y. Soto-Padilla^{5*}

¹ Programa de Doctorado en Ciencias con Especialidad en Biotecnología

² Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias

³ CONACYT- Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente

⁴ Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México

⁵ Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

⁶ Ingeniería en Energía, Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, Sahuayo, Michoacán

Hexavalent chromium reduction and methyl red degradation by sediment isolated bacteria from the Chapala Lake, México

Abstract

Presence of pollutants in the Chapala Lake has been reported, which has become an issue of public health concern for the communities nearby, adapted bacteria that survive within the contaminated water column, require of a specialized metabolism in order to live. From this perspective, the isolation of chromium resistant bacteria from a sampling site at Las Palmas Michoacán, has been accomplished; 4 strains with specific morphologic characteristics were identified and their resistance to Cr(VI) and its degradation were evaluated, as well as their potential to reduce the Methyl Red colorant. The isolated strains from the lake sediments, were capable to resist concentrations up to 1200 mg/l of Chromate (CrO_4^{2-}) in a liquid medium, and also a Cr(VI) reduction range from 46.5 to 52.3 percent, after a 72 hour exposure, at a 50 mg/l Chromate concentration. Methyl Red degradation were observed with percentage ranges from 16.9 to 83.4, after a 7 hour exposure at a 50 mg/l concentration of Methyl Red. The isolated bacterial strains have the potential for being used in the treatment of contaminated waters with azo colorants and Hexavalent Chromium.

Key words: Hexavalent Chromium, Methyl Red, Chapala Lake.

Resumen

Se ha reportado la presencia de contaminantes en el lago de Chapala, los cuales se han convertido en un problema de salud pública para las comunidades aledañas, las bacterias que sobreviven a las condiciones de mezcla de contaminantes, requieren de un metabolismo especializado para poder perpetuarse. Bajo esta perspectiva, se logró el aislamiento de bacterias resistentes a Cromo (Cr) provenientes del sitio de muestreo identificado como La Palma en el estado de Michoacán, 4 cepas presentaron características morfológicas distintas, evaluándose su resistencia a Cr(VI) y su potencial de reducción, así como la capacidad de degradación del colorante rojo de metilo. Las cepas aisladas de los sedimentos fueron capaces de resistir concentraciones de hasta 1200 mg/l de Cromato (CrO_4^{2-}) en medio líquido. Estas cepas fueron capaces de reducir Cr(VI) en porcentajes de 46.5 a 52.3, después de 72 horas de exposición, en una concentración de 50 mg/l de cromato. En la degradación de rojo de metilo, se registraron porcentajes de degradación de 16.9 a 83.4, después de 7 horas, en una concentración de 50 mg/l de rojo de metilo. Estas bacterias aisladas tienen la

*Autores de correspondencia
Email: marisela.soto@uacj.mx

capacidad de ser utilizadas en el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes azo y con cromo hexavalente.

Palabras claves: Cromo hexavalente, rojo de metilo, Lago de Chapala.

Introducción

La contaminación en cuerpos de agua se ha incrementado y se ha convertido en una problemática mundial. El lago de Chapala es el más grande de la República Mexicana con una extensión aproximada de 1,740.8 km², es tercero en tamaño en América Latina y el segundo en altura de América (Castelán *et al.*, 2004), y sirve como abastecimiento de agua para poblaciones de Jalisco y Michoacán. Se ha determinado la presencia de metales pesados en los sedimentos del Lago de Chapala, México, convirtiéndose en un problema de salud pública. Los metales entran en el medio acuático de una variedad de fuentes, incluyendo los que se producen de forma natural a través de los ciclos biogeoquímicos y a través de fuentes antropogénicas, es decir, de efluentes industriales y domésticos, urbano, tormenta de escorrentía de aguas, lixiviados de vertedero y fuentes atmosféricas (Trujillo-Cárdenas *et al.*, 2010). La industria textil utiliza una alta cantidad de volumen de agua en sus procesos, por lo tanto, genera grandes cantidades de agua residual, contaminada por colorantes; los cuales no son altamente tóxicos para los seres vivos, pero sí sus consecuencias al medio ambiente, debido a su coloración que pueden llegar a suprimir los procesos fotosintéticos que realizan algunos organismos (Sarkar *et al.*, 2011). Los metales pesados no son biodegradables, pero pueden ser transformados, estas transformaciones afectan la movilidad y la biodisponibilidad de los metales. Los microorganismos que pueden crecer y desarrollarse en presencia de metales son llamados metalófilos (Ramírez *et al.*, 2006). El Cromo es un metal importante comúnmente utilizado en varias industrias, por ejemplo, bronceado, galvanoplastia y la producción de acero, y es un contaminante industrial común. La reducción microbiana de cromo hexavalente (Cr(VI)) a cromo trivalente (Cr(III)) es un proceso potencialmente útil para la remediación de aguas contaminadas con dicho metal. En dicho proceso se transforman compuestos muy solubles en agua, tóxicos y carcinógenos (Cr VI), en compuestos poco solubles y menos tóxicos

(Cr III) (Panigatti *et al.*, 2007; Pattanapitpaisal *et al.*, 2001). En la actualidad se han evaluado a nivel biorremediación de agua, el potencial de diferentes géneros bacterianos en la reducción de Cromo hexavalente (Sinha *et al.*, 2011; Sharma y Adholeya, 2012).

El color como parámetro físico-químico, es el primer contaminante reconocido en las aguas residuales de la industria textil que afecta a la estética, la transparencia del agua y la solubilidad de gases, por lo que tienen que ser eliminados antes de descargar las aguas de proceso en un cuerpo de agua receptor. La biorremediación microbiana es capaz de transformar diversos compuestos tóxicos a formas menos nocivas para el medio ambiente (Mathur y Kumar, 2013). En estudios recientes se ha demostrado que los microorganismos tienen la capacidad para la decoloración de los tintes y la eliminación de su toxicidad (Ramya *et al.*, 2010) ya que pueden lograr la mineralización completa de los contaminantes orgánicos siendo más rentables, llegando a producir una menor cantidad de lodos. La eficacia de la decoloración depende de la capacidad de adaptación y la actividad de los microorganismos seleccionados (Velmurugan y Ravikumar, 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de reducción de Cr(VI) y la degradación del colorante rojo de metilo de bacterias resistentes a Cromo aisladas a partir de sedimentos del Lago de Chapala, México.

Materiales y método

Aislamiento microbiano

El muestreo de sedimentos del Lago de Chapala se realizó en las coordenadas 20°08'34.6"N y 102°46'24.7"W, la muestra se recolectó en tubos Falcon de 50 ml estériles, estas fueron almacenadas en una hielera a una temperatura de 4°C para ser transportadas al laboratorio para su posterior análisis (De Anda *et al.*, 2013). Posteriormente se pesaron 10 g de sedimento y se incubaron a 37°C por 21 días a 200 rpm en caldo nutritivo suplementado con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) a una concentración de 20 mg l⁻¹ de Cr(VI). Se

tomaron muestras del medio de cultivo al tiempo 0, 3, 7, 14 y 21 días de incubación. Las muestras recolectadas se cultivaron en cajas Petri con agar nutritivo suplementado a 20 mg l⁻¹ de Cr(VI), para lo cual se realizaron diluciones seriadas del orden 10⁶. Se seleccionaron colonias morfológicamente diferentes para realizar su aislamiento en nuevas cajas Petri usando estría escocesa (Soto-Padilla et al., 2014).

Resistencia y crecimiento en Cr(VI) y rojo de metilo

Se determinó la resistencia y crecimiento microbiano a las 48 h a 37°C en Cr (VI), utilizando agar LB suplementado con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), se evaluaron concentraciones de Cr(VI) de 50, 200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 mg l⁻¹. Para el caso de rojo de metilo se utilizó agar nutritivo suplementado con rojo de metilo en concentraciones de 50, 100, 200, 300 400 y 500 mg l⁻¹.

Cinética de crecimiento en Cr(VI) y rojo de metilo

Se inocularon con 10% de pre inóculo de bacterias aisladas e incubaron en matraces Erlenmeyer; en la cinética de crecimiento en Cr(VI) se utilizó caldo Luria (LB) adicionado con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) a una concentración de 50 mg l⁻¹; en la cinética de crecimiento en rojo de metilo se utilizó caldo nutritivo adicionado con colorante rojo de metilo a una concentración de 50 mg l⁻¹; en ambos casos los matraces se esterilizaron en autoclave durante 15 minutos. Los matraces se inocularon e incubaron en un agitador orbital con una temperatura de 37°C a 200 rpm. Para la evaluación del crecimiento microbiano se tomaron alícuotas de 3 ml del medio de cultivo en diferentes intervalos de tiempo. El crecimiento bacteriano se estimó por turbidimetría a una longitud de onda de 600 nm en el espectrofotómetro UV-Vis (Lambda 2) (Thacker et al., 2007). Todos los experimentos se realizaron por triplicado.

Cinética de reducción de Cr (VI)

La reducción de Cromo se determinó utilizando caldo Luria (LB) adicionado con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) a una concentración de 50 mg l⁻¹, el cual se incubó a 37°C y 200 rpm. Se evaluó la reducción de Cr(VI), tomando alícuotas de 3 mL del medio de cultivo a diferentes intervalos de tiempo, las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos. La concentración de Cr(VI) se determinó

utilizando el método de la Ditzona a una longitud de onda de 540 nm en el espectrofotómetro UV-Vis (Lambda 2) (Thacker et al., 2007).

Decoloración de rojo de Metilo

Para la evaluación de la decoloración se utilizó caldo nutritivo suplementado con una concentración de 50 mg l⁻¹ de rojo de metilo inoculado con 10% de pre inóculo de cada bacteria, el cual se incubó a 37°C y 200 rpm. Posteriormente se tomaron alícuotas de 5 ml de medio de cultivo a diferentes intervalos de tiempo. Cada alícuota se centrifugó a 3000 rpm durante 15 min y en el sobrenadante se midió la decoloración al medio de espectrofotometría a una absorbancia a 430 nm (Lambda 2). El porcentaje de decoloración fue calculado de acuerdo a la ecuación 1 (Jadhav et al., 2008).

$$\% \text{ Decoloración} = \frac{A_i - A_f}{A_i} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

A_i = Absorbancia inicial y A_f = Absorbancia final

Resultados

Se obtuvieron 10 colonias de bacterias con resistencia a Cr(VI) del sitio de muestreo, de las cuales cuatro cepas presentaron características morfológicas distintas; microscópicamente las cepas A, C y D presentan forma de bacilos Gram negativos, la cepa B presenta forma de cocos Gram positivos. El crecimiento evaluado de las cepas A, B, C y D con dicromato de potasio mostraron diferentes grados de resistencia al Cr(VI), siendo las que presentaron mayor crecimiento las cepas B y D (Fig. 1). En cambio, para la degradación de rojo de metilo se observó un halo de 2 a 3 mm en las cajas con concentraciones de 500 mg l⁻¹ para las cuatro cepas evaluadas. Las cinéticas de crecimiento mostradas en la figura 2 de las cuatro cepas a 50 mg l⁻¹ de Cr(VI), podemos distinguir que existe un mayor crecimiento de las cepas B y D como se determinó en la evaluación de resistencia que se realizó en placa. La figura 3 nos muestra la cinética de crecimiento de las cuatro cepas a concentraciones de 50 mg l⁻¹ de rojo de metilo, donde se observa que las cepas C y D presentaron un mayor crecimiento que las cepas A y B.

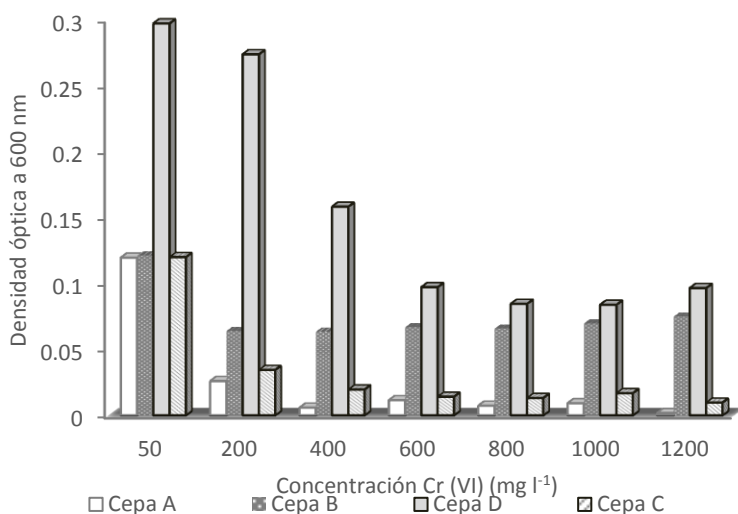


Figura 1. Evaluación de crecimiento de cuatro cepas de bacterias aisladas del Lago de Chapala, México, a diferentes concentraciones de Cr(VI).

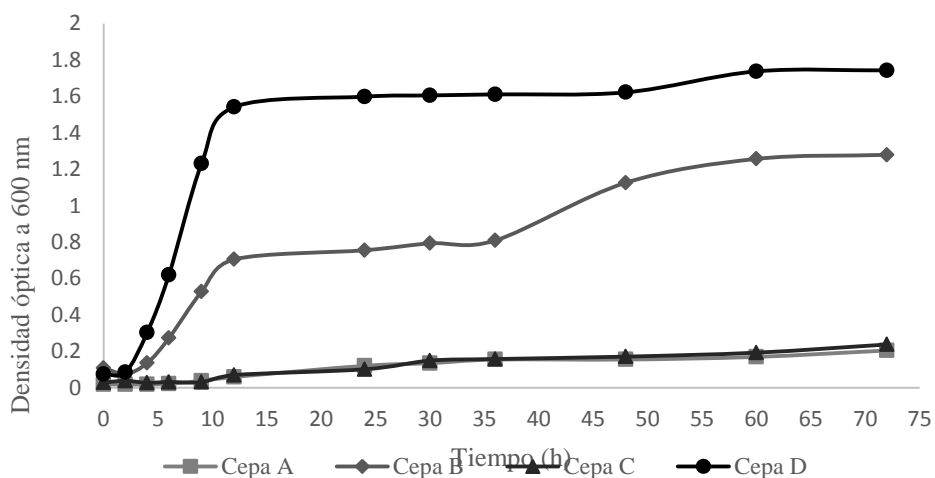


Figura 2. Cinética de crecimiento de cuatro cepas de bacterias resistentes a Cromo (VI) aisladas del Lago de Chapala, México, en caldo LB suplementado con 50 mg l⁻¹ de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇).

En las cinéticas de reducción de Cr(VI) (Fig. 4), se percibe una disminución de la concentración de cromato muy similar en las cuatro cepas evaluadas, se puede observar también la disminución de la concentración de Cr(VI) conforme transcurre el tiempo, logrando a un tiempo de 72 horas tener una concentración de 47.6% para la cepa D y 50.2% para la cepa C de la concentración inicial de dicromato de potasio. Los porcentajes de reducción

de Cr(VI) de las cepas estudiadas muestran valores del 46.5 al 52.3 % (Tabla 1).

En la degradación de rojo de metilo de igual manera se evaluaron las cinéticas de degradación (Fig. 5), en donde se observó que la cepa C tiene una mayor facilidad de eliminarlo, ya que presentó un porcentaje del 74.5% en un tiempo de 2 horas. Los porcentajes de degradación de rojo de metilo de las cepas muestran valores de 16.9 a 83.4% (Tabla 2).

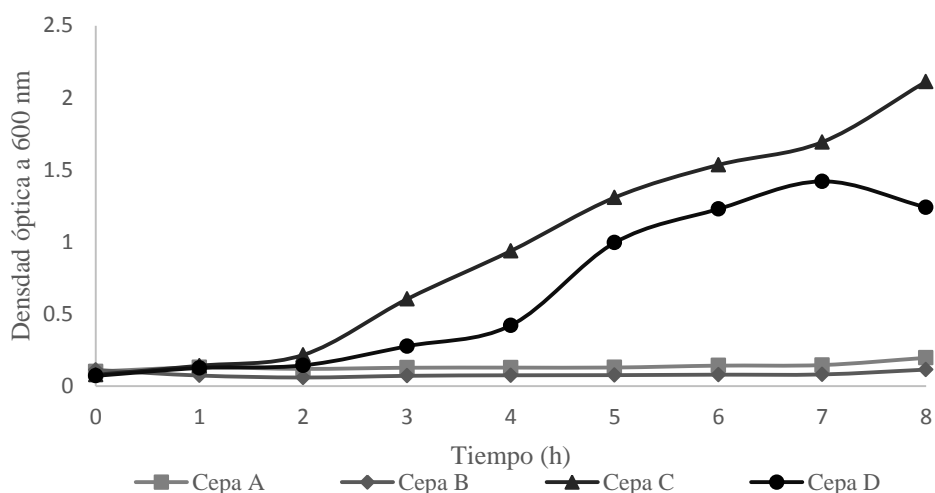


Figura 3. Cinética de crecimiento de cuatro cepas de bacterias resistentes a Cromo (VI) aisladas del Lago de Chapala, México, en caldo nutritivo suplementado con 50 mg l⁻¹ de colorante rojo de metilo.

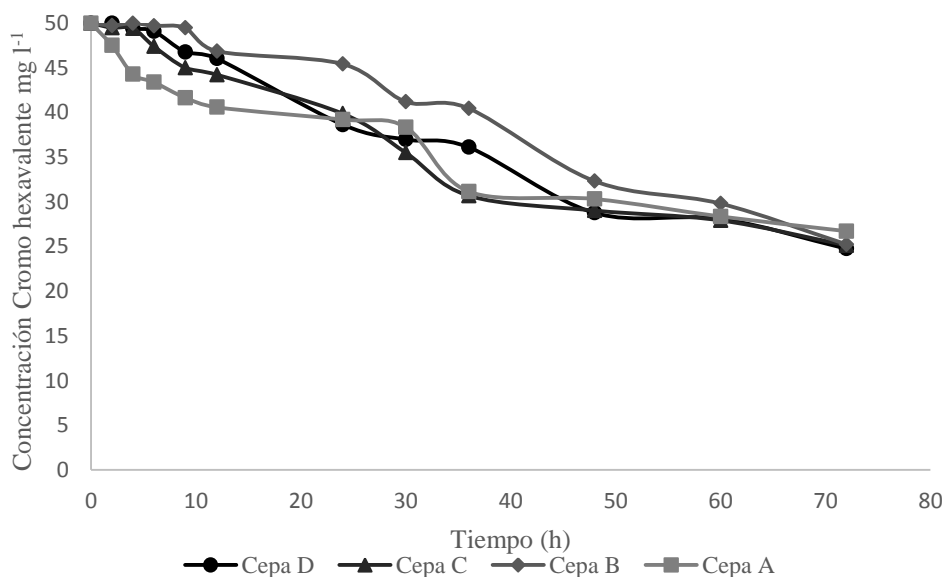


Figura 4. Reducción de la concentración de Cromo hexavalente en un periodo de 72 h, por cuatro cepas de bacterias aisladas del Lago de Chapala, México.

Discusión

Investigaciones realizadas en el Lago de Chapala sobre las fuentes que originan contaminación por metales pesados en el embalse natural del lago, indican la presencia de Cromo el cuál proviene de

las actividades económicas que se desarrollan a lo largo de la cuenca Lerma-Chapala (Brito *et al.*, 2015; Trujillo-Cárdenas *et al.*, 2010). Los sedimentos finos del Lago de Chapala actúan como trampas eficientes para la remoción de los metales pesados tóxicos de la columna de agua, permitiendo

Tabla 1. Porcentajes de reducción de Cr(VI) por cepas cromo resistentes aisladas del Lago de Chapala, México.

Cepa	% de reducción Cr(VI)
A	46.5
B	49.6
C	49.7
D	52.3

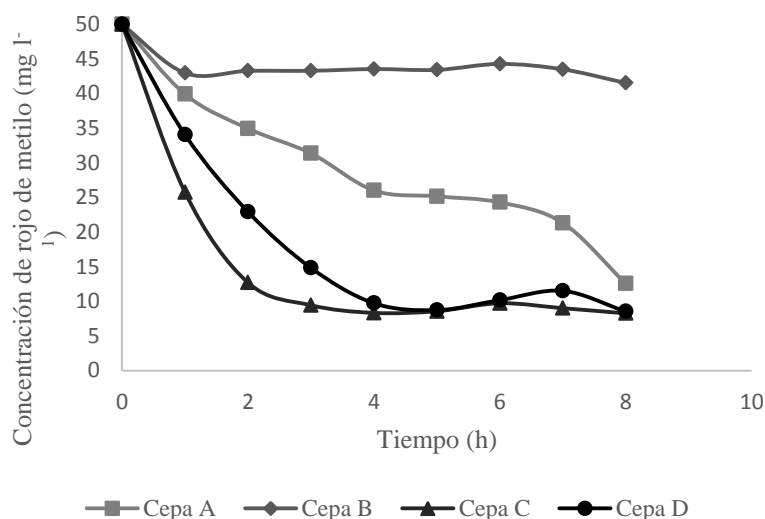


Figura 5. Reducción de la concentración de rojo de metilo en un periodo de 8 h, por cuatro cepas de bacterias aisladas del Lago de Chapala, México.

Tabla 2. Porcentajes de degradación de rojo de metilo por cepas cromo resistentes aisladas del Lago de Chapala, México.

Cepa	% de reducción rojo de metilo
A	74.8
B	16.9
C	83.4
D	82.9

su captación; de esta manera, se obtienen altos niveles de metales en la fase sólida del sistema (Hansen, 1992). En el sitio de muestreo identificado como La Palma en el estado de Michoacán, se encontró una diversidad de microorganismos resistentes a diferentes metales pesados entre los que se encuentran las 10 cepas de bacterias aisladas con resistencia al Cromo. A nivel mundial se han logrado aislar microorganismos tanto de sitios contaminados con Cromo como de ecosistemas naturales no contaminados, los microorganismos encontrados en sitios contaminados por Cromo han desarrollado mecanismos para combatir la toxicidad del cromato (Ramírez-Díaz *et al.*, 2009). La capacidad de los microorganismos de resistir y desarrollar dichos mecanismos se ha utilizado en la

actualidad para su aplicación en procesos de biorremediación de diferentes contaminantes como son: metales pesados, hidrocarburos, colorantes, etc. Investigaciones reportadas sobre la resistencia de bacterias a cromato concuerdan con los resultados obtenidos, las cepas aisladas del Lago de Chapala resultaron todas resistentes a concentraciones superiores a 1000 mg l⁻¹ de cromato (Islas-Espinoza y Bojórquez-Aguilar, 2011; Thacker *et al.*, 2007), se ha descrito que el cromo (Cr⁺⁶) puede ser reducido a su forma menos tóxica (Cr⁺³) mediante el uso de microorganismos como hongos y bacterias (Cárdenas-González *et al.*, 2011; Ma *et al.*, 2007), por lo que han sido propuestos como alternativas biotecnológicas para la biorremediación de la contaminación por cromato (Acosta-Rodríguez *et*

al., 2012; Guo et al., 2010).

La evaluación de las cinéticas de las cepas demostró el mayor crecimiento en la cepa D concordando con los resultados presentados por Thacker et al. (2007) quienes reportan una absorbancia de 1.6 en sus estudios a una concentración de 50 mg l⁻¹ de cromato, en un tiempo de 48 h. Estudios realizados por Islas-Espinoza y Bojórquez-Aguilar (2011) muestran que el crecimiento de la cepa estudiada presentaba valores menores a 0.5 de densidad óptica en las primeras horas de crecimiento concordando con el desarrollo de las cepas A y C. Rahman et al. (2007) reportan un crecimiento de 1.2 de densidad óptica muy similar a la que muestra la cepa B, coincidiendo con la cinética de crecimiento de *Bacillus* reportado por Zahor y Rehman (2009). En las investigaciones mencionadas se ha observado que el crecimiento de las cepas analizadas decrece con el incremento de las concentraciones de cromato.

La reducción de cromato por bacterias se ha revisado en varios trabajos utilizando diferentes cepas, así como diversas concentraciones de cromato y periodos de tiempo (Camargo et al., 2003; Zahor y Rehman, 2009); estos trabajos demuestran que la reducción de cromo hexavalente se afecta con el aumento de la concentración de cromato, reportando porcentajes de reducción entre 24 y 55% (Shakoori et al., 1999; Panigatti et al., 2007).

Wang y Shen (1995) mencionan que las bacterias reductoras de cromo requieren generalmente altas densidades celulares para presentar una reducción significativa de cromato; sin embargo, nuestros resultados indican que las cepas que no presentaron un valor alto de densidad óptica presentan similar capacidad de reducción del cromo hexavalente.

Dentro de los colorantes aplicados en la industria se encuentran colorantes complejo-metálicos formados por un colorante azo principalmente y un metal (Cr, Co, Cu), la presencia de colorantes en las aguas residuales representa un problema ambiental, ya que este tipo de compuestos no puede eliminarse con los métodos de tratamiento convencionales (Cortazar-Martínez et al., 2012). Investigaciones reportan la aplicación de bacterias en la degradación de colorantes tanto aerobios como anaerobios (Saratale et al., 2011; Solís et al., 2012). Los resultados del crecimiento de las cepas en rojo de metilo muestran que el colorante azo no presenta riesgo de toxicidad para las cepas, ya que en las primeras 8 horas la

cepa C alcanzó un valor superior a 2.0 de densidad óptica. Olukanni et al. (2009) evaluó la degradación del colorante rojo de metilo como estándar de colorantes tipo azo utilizando una cepa de *Micrococcus* aislado de suelo. Adedayo et al. (2004) al evaluar la degradación de rojo de metilo por medio de un consorcio bacteriano obtenido de una planta de tratamiento de agua residual mostró que la degradación se alcanzaba en un periodo de 16 horas para una completa decoloración en concentraciones de 20 a 30 mg l⁻¹; nuestros resultados muestran una degradación de 83 % por las cepas C y D a una concentración de 50 mg l⁻¹, representando una alternativa de aplicación en procesos de biorremediación con este tipo de contaminantes.

Conclusiones

Las bacterias aisladas del Lago de Chapala tienen la capacidad (mayor a 50%) de ser utilizadas para diferentes usos biotecnológicos, como lo es el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes azo y con cromo hexavalente.

Referencias

- Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-Gonzales, J.F. y Martínez-Juárez, V.M., 2012. El uso de diferentes biomasas para la eliminación de metales pesados de sitios contaminados. *Ide@s CONCYTEG* 7, 911-922.
- Adedayo, O., Javadpour, S., Taylor, C., Anderson, W.A. y Moo-Young, M., 2004. Decolourization and detoxification of methyl red by aerobic bacteria from a wastewater treatment plant. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 20, 545-550.
- Bríto, E.M., De la Cruz, B.M., Caretta, C.A., Goñi-Urriza, M., Andrade, L.H., Cuevas-Rodríguez, G., Malm, O., Torres, J.P., Simón, M. y Guyoneaud, R., 2015. Impact of hydrocarbons, PCBs and heavy metals on bacterial communities in Lerma River Salamanca, México: Investigation of hydrocarbon degradation potential. *Science of The Total Environment* 521, 1-19.
- Camargo, F.A., Okeke, O.C., Bento, F.M. y Frankenberger, W., 2003. In vitro reduction of hexavalent chromium by a cell-free extract of *Bacillus* sp. ES 29 stimulated by Cu²⁺. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 62, 569-573. DOI: 10.1007/s00253-003-1291-x
- Cárdenas-González, J.F., Martínez-Juárez, V.M. y Acosta-Rodríguez, I., 2011. Remoción de cromo (VI) por una cepa de *Paecilomyces* sp resistente a cromato. *Información Tecnológica* 22, 43-50. DOI: 10.4067/S0718-07642011000400006
- Quiroz-Castelán, H., Mora-Zúñiga, L.M., Molina-Astudillo, I. y García-Rodríguez, J., 2004. Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el lago de Chapala, Jalisco, México. *Universidad de Guanajuato, Dirección de Investigación y Posgrado. Acta Universitaria* 14, 47-58.

- Cortazar-Martínez, A., González-Ramírez, C.A., Coronel-Olivares, C., Escalante-Lozada, J.A., Castro-Rosas, J. y Villagómez-Ibarría, J.R., 2012. Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y Ciencia* 28, 187-199.
- De Anda, V.Y., Ponce, G.Y., Rosas, G.M., Vázquez, P.A. y Blaz, J.I., 2013. Manual del curso teórico- práctico: Ecología Molecular: "Abriendo la Caja Negra del Ecosistema". Curso precongreso en ecología molecular en el marco del tercer congreso de bioquímica y biología molecular de bacterias. Cuatro Ciénegas de Carranza, Coahuila, México.
- Guo, H., Luo, S., Chen, L., Xiao, X., Xi Q., Wei, W., Zeng, G., Liu, C., Wan, Y., Chen, J. y He, Y., 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Bioresource Technology*. 8599–8605. DOI:10.1016/j.biortech.2010.06.085
- Hansen, A.M., 1992. Metales pesados en el sistema Lerma-Chapala: distribución y migración. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA. 92-98.
- Islas-Espinoza, M. y Bojórquez-Aguilar, R., 2011. Bacterias reductoras de Cr⁶⁺ y su potencial biotecnológico. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27, 231-239.
- Jadhav, S.U., Jadhav, M.U., Kagalkar, A.N. y Govindwar, S.P., 2008. Decolorization of Brilliant Blue G dye mediated by degradation of the microbial consortium of *Galactomyces geotrichum* and *Bacillus* sp. *J. Chin. Inst. Chem. Eng.* 39, 563-570. DOI:10.1016/j.jcice.2008.06.003
- Ma, Z., Zhu, W., Long, H., Chai, L. y Wang, Q., 2007. Chromate reduction by resting cells of *Achromobacter* sp. Ch-I under aerobic conditions. *Process Biochem.* 42, 1028-1032. DOI: 10.1016/j.procbio.2007.03.007
- Mathur, N. y Kumar, A., 2013. Decoloration of methyl red by an isolated *Pseudomonas putida* strain MR1. *Afr. J. Microbiol. Res.* 7, 983-989. DOI: 10.5897/AJMR2013.2537
- Olukanni, O. D., Osuntoki, A.A. y Gbenle, G.O., 2009. Decolourization of azo dyes by a strain of *Micrococcus* isolated from a refuse dump soil. *Biotechnology* 8, 442-448.
- Panigatti, M.C., Torres, J.M., Griffa, C., Boglione, R. y Gentinetta, F., 2007. Biorremediación de efluentes con cromo (VI) proveniente de plantas metalmeccánicas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica* 1, 1-13.
- Pattanapitpaisal, P., Brown, N.L. y Macaskie, L.E., 2001. Chromate reduction and 16S rRNA identification of bacteria isolated from a Cr(VI)-contaminated site. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57, 257–261.
- Rahman, M.U., Gul, S. y Haq, M.Z.U., 2007. Reduction of chromium(VI) by locally isolated *Pseudomonas* sp. C-171. *Turk J. Biol.* 31, 161-166.
- Ramírez, N., Serrano, J.A. y Sandoval, H., 2006. Microorganismos extremófilos. Actinomicetos halófilos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 37, 56-71.
- Ramírez-Díaz, M.I., Riveros-Rosas, H., Campos-García, J. y Cervantes, C., 2009. Reducción bacteriana de cromo hexavalente: mecanismos y aplicaciones. *REB.* 28, 73-79.
- Ramya, M., Iyappan, S., Manju, A. y Jiffe, J.S., 2010. Biodegradation and decolorization of acid red by *Acinetobacter radioresistens*. *J. Bioremed. Biodegrad.* 1, 105. DOI:10.4172/2155-6199.1000105
- Saratale, R.G., Saratale, G.D., Chang, J.S. y Govindwar, S.P., 2011. Bacterial decoloration and degradation of azo dyes: A review. *J. Taiwan Inst. Chem. E.* 42, 138-157. DOI:10.1016/j.jtice.2010.06.006
- Sarkar, P., Fakhruddin, A. y Mahin, A.A., 2011. Biodegradation and decoloration of methyl red. *Proceedings of the International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB)*.
- Shakoori, A.R., Tahseen, S. y Haq, R.U., 1999. Chromium-tolerant bacteria isolated from industrial effluents and their use in detoxication of hexavalent chromium. *Folia Microbiol.* 44, 50-54. DOI: 10.1007/BF02816221
- Sharma, S., y Adholeya, A., 2012. Hexavalent chromium reduction in tannery effluent by bacterial species isolated from tannery effluent contaminated soil. *Journal of Environmental Science and Technology* 5, 142-154. DOI:10.3923/jest.2012.142.154
- Sinha, S.N., Biswas, M., Paul, D., y Rahaman, S., 2011. Biodegradation potential of bacterial isolates from tannery effluent with special reference to hexavalent chromium. *Biotechnol. Bioinf. Bioeng.* 1, 381-386.
- Solís, M., Solís, A., Pérez, H. I., Manjarrez, N. y Flores, M., 2012. Microbial decolouration of azo dyes: A review. *Process Biochem.* 47, 1723-1748. DOI:10.1016/j.procbio.2012.08.014
- Soto-Padilla, M.Y., Valenzuela-Encinas, C., Dendooven, L., Marsch, R., Gortarés-Moroyoqui, P. y Estrada-Alvarado, M.I., 2014. Isolation and phylogenic identification of soil haloalkaliphilic strains in the former Texcoco Lake. *Int. J. Environ Heal R.* 24, 82-90. DOI: 10.1080/09603123.2013.800957
- Thacker, U., Parikh, R., Shouche, Y. y Madamwar, D., 2007. Reduction of chromate by cell-free extract of *Brucella* sp. Isolated from Cr(VI) contaminated sites. *Bioresource Technol.* 98, 1541-1547. DOI:10.1016/j.biortech.2006.06.011
- Trujillo-Cárdenas, J., Saucedo-Torres, N., Zárate del Valle, P., Ríos-Donato, N., Mendizábal, E. y Gómez-Salazar, S., 2010. Speciation and sources of toxic metals in sediments of Lake Chapala, Mexico. *J. Mex. Chem. Soc.* 54, 79-87.
- Velmurugan, S. y Ravikumar, R., 2014. Biodegradation and decolorization of reactive dye red ME4BL by *Bacillus subtilis*. *IJEBS* 2, 250-255. DOI:10.12691/ijebs-2-6-1
- Wang, Y.T. y Shen, H., 1995. Bacterial reduction of hexavalent chromium. *J. Ind. Microbiol.* 14, 159-163. DOI: 10.1007/BF01569898.