



Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 4, año 2008 ISSN 0718-378X
PP

LA MICROBIOTA PRESENTE EN UN DESECHO MINERO, COMO OPCIÓN DE RESTAURACIÓN DE JALES

MICROBIOTA PRESENT IN A MINING WASTE,
AS AN OPTION FOR MINE TAILING DAMS RESTAURATION

Delfín-Alcalá Irma
Durán-de-Bazúa María del Carmen

ABSTRACT

In Mexico, mining exploitation is a very important economic activity. Unfortunately, it generates large volumes of solid wastes (jales, from the Náhuatl word xalli, that means fine sands) that are disposed in mine tailing dams (presas de jales) and cover vast extensions of land, in which there is no vegetation. Mines are responsible for 65% of the industrial wastes produced in Mexico. The composition of the particulate matter from mine tailing dams varies depending on the existing mineral deposits. This study worked with tailings from a mine rich in iron pyrite in the State of Mexico, Mexico. The physicochemical characterization of the waste indicates that it is a compact particulate material without organic matter, with small water-retaining capacity and whose pH acidizes under atmospheric conditions (weather, biological and chemical phenomena or "weathering"). The lack of organic matter is crucial to explain the absence of any visible superficial microorganism growth in tailing samples to which water was added (and was not absorbed). The sowing of tailings in a series of liquid culture media indicated the presence of native biota, which under microscope observation showed different fungi and bacteria, which were tentatively identified through bioassays. *Aspergillum nidulans*, *Helicosporium panacheum*, *Humicola alopallonella*, *Alternaria alternata* and *Cladobotryum mycophilum* were isolated from the initial mixed cultures. Barr culture media showed the presence of sulfate-reducing anaerobic bacteria identified in the literature as *Desulfovibrio desulfuricans*. The decline of pH in the tailing, subject to weathering, indicates the presence of sulfur-oxidizing bacteria, assumption confirmed in the laboratory with the oxidation of the earth ion. It is, possibly, due to *Acidithiobacillus ferrooxidans*. When fragments of tailing were put on a culture of *Aspergillus nidulans* (native biota) it was observed that there was fungi growth on the free surface of the wastes. These results observed in laboratory scale led to the assumption that it is feasible to achieve colonization of the tailings by filamentous fungi present as native biota, if there is addition of moisture and nutrient. It is necessary, however, to confirm this statement through bioassays in a larger scale.

I-Delfin-México-001

LA MICROBIOTA PRESENTE EN UN DESECHO MINERO, COMO OPCIÓN DE RESTAURACIÓN DE JALES

Delfin-Alcalá Irma

Química Farmacéutica Bióloga. Maestría en Ciencias Orientación Química Ambiental (UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México). Profesora de la licenciatura en Biología (FES Iztacala/UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México). Miembro del Comité de Bioseguridad de la FES Iztacala/UNAM. Autora del libro de texto “Biomoléculas”.

Durán-de-Bazúa María del Carmen

Ingeniera Química. Doctora en Ingeniería Civil (RFA, Universidad de Karlsruhe, Alemania). Coordinadora del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQyQA) de la UNAM hasta agosto de 2007. Investigadora Nacional Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores de México. Asesora de la FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) y de la ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). Profesora titular de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dirección: Av. de los Barrios 1. Los Reyes Iztacala. 54090 Tlalnepantla. Estado de México. México. Tel.: 52 (+55)56231116 Fax: 52(+55)56231149. e-mail: delfin@servidor.unam.mx

RESUMEN

La explotación minera es en países como México una actividad económica importante. Tiene el inconveniente de que genera grandes volúmenes de residuos sólidos (jales, del náhuatl “xalli”, arenas finas) que son depositados en sitios denominados “presas” que cubren grandes extensiones de terreno, en los cuales no hay desarrollo de una cubierta vegetal. El 65% de los residuos industriales producidos en México provienen de la minería. La composición de los materiales particulados de las presas de jales varía dependiendo del yacimiento mineral de que se trate. En este estudio se trabajó con el jal de una mina rica en pirita, del Estado de México, México. La caracterización fisicoquímica del residuo indica que se trata de un material particulado compacto en el que está ausente la materia orgánica, con poca capacidad de retención de agua y cuyo pH se acidifica con la intemperie (fenómenos meteorológicos, biológicos y químicos o “intemperismo”). La carencia de materia orgánica es determinante para explicar la falta de crecimiento superficial visible de microorganismos, en muestras de jal a las que se les adicionó agua (que no fue absorbida). La siembra de jal en una batería de medios de cultivo líquidos indicó la presencia de biota nativa que a la observación microscópica mostró diversidad de hongos y bacterias, que se identificaron tentativamente a través de bioensayos. A partir de los cultivos mixtos iniciales se aislaron *Aspergillus nidulans*, *Helicosporium panacheum*, *Humicola alopallonella*, *Alternaria alternata* y *Cladobotryum mycophilum*. El cultivo en medio de Barr mostró la presencia de bacterias anaerobias sulfatorreductoras, identificadas bibliográficamente como *Desulfovibrio desulfuricans*. El descenso del pH en el jal sujeto a intemperismo indica la presencia de bacterias sulfooxidantes, presunción confirmada en el laboratorio como

oxidación del ión terroso. Se trata posiblemente de *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Al colocar fragmentos de jal sobre un cultivo de *Aspergillus nidulans* (biota nativa) se observó crecimiento del hongo sobre la superficie libre de los residuos. Estos resultados observados a escala de laboratorio permiten suponer que es factible lograr la colonización del jal por los hongos filamentosos presentes como biota nativa, si se le aportan humedad y nutrientes, pero es necesario confirmar esto por medio de bioensayos a mayor escala.

Microbiota, jales mineros, desechos mineros, residuos sólidos, biorremediación

INTRODUCCIÓN

En México, desde la época prehispánica, la minería ha sido una importante actividad económica. Actualmente, esta industria representa alrededor del 5% del producto interno bruto. Pese a su evidente importancia, debe tenerse en cuenta que la explotación minera provoca daños al ambiente, ya que se estima que alrededor del 95 al 98% del material extraído de las minas es depositado en sitios denominados presas de jales, que cubren grandes extensiones de terreno, en los cuales no hay desarrollo de una cubierta vegetal (García-Meza y Durán-de-Bazúa, 2007). El 65% de los residuos industriales producidos en México provienen de la minería (SEDESOL, 1993).

Los “desechos mineros” (jales) contienen materiales sólidos potencialmente tóxicos suspendidos en el líquido fluidificado que es descargado en la presa de jales y, al secarse, el material particulado sólido es diseminado por el viento que lo deposita sobre la superficie del suelo y de las aguas superficiales próximas al yacimiento minero. Los lixiviados son otra fuente de contaminación ambiental al arrastrar la fracción soluble de dichos residuos a los mantos freáticos (Lizárraga-Mendiola y col., 2006). Los jales se depositan en barrancas o planicies próximas a la zona de explotación minera, el suelo queda recubierto por capas sucesivas de este material sólido, cuya altura y compactación se incrementa continuamente por las nuevas descargas. Los jales difieren de los suelos en su composición química, que es relativamente uniforme y, sobre todo, que carecen de materia orgánica y otros elementos necesarios para la vida como el nitrógeno y el fósforo. Tienen un contenido de humedad muy limitado, ya que debido a su tamaño de partícula tienen una estructura sólida compacta y prácticamente carente de espacios de aire y de agua. La falta de materia orgánica, agua y aire, son factores que evitan que al interior del material sólido (jal) pueda desarrollarse la microbiota nativa que contribuiría a mantener una superficie fértil en la que pudiera crecer y mantenerse una sucesión de especies vegetales.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio son los residuos mineros que, desde hace más de 10 años, han venido siendo depositados en la presa de jales (Figura 1) de una mina subterránea rica en pirita. El yacimiento es de sulfuros masivos y los productos principales que de él se extraen son “concentrados” de zinc, plomo y cobre (Durán-de-Bazúa y col., 2006). Los residuos semilíquidos del proceso de recuperación de los metales, se envían a un cárcamo donde se

les elimina la mayor parte del agua antes de ser enviados para su depósito final a la presa de jales. Los materiales insolubles: sulfuros de plomo, zinc, cobre, hierro y cadmio, que se encuentran en el vertido semilíquido, se depositan espontáneamente en forma de capas superpuestas que quedan cubiertas temporalmente por una delgada lámina del agua de desecho, pero debido a que están a la intemperie, el agua se evapora espontáneamente. El agua de rebombeo del cárcamo (hoyo o zanja donde se mantiene el líquido para que la bomba lo succione) se reutiliza en el procesamiento del mineral (González-Sandoval y col., 2006). Esta investigación es parte de un proyecto que tiene como objetivo hacer el diagnóstico de los desechos de una de las zonas mineras del país, evaluando su potencial tóxico, incrementando el conocimiento relativo a la estabilización de los jales estudiados y generando información, a escala de laboratorio y de banco, para continuar con el estudio, a nivel prototipo, de la estabilización de jales mineros y dar propuestas de remediación de sitios con jales de características químicas similares. Los objetivos específicos del presente estudio son: a) reconocer en un jal minero la presencia de microorganismos nativos que están presentes en estado latente o bajo formas de resistencia, pero que sean capaces de desarrollarse si se modifican algunas de las características fisicoquímicas de ese residuo sólido b) aportar información relacionada con la posibilidad de biorremediación de zonas con presencia de jales, utilizando para ello microorganismos, como microalgas, bacterias y hongos nativos.

METODOLOGÍA

1. A partir de la caracterización física y química del jal, siguiendo las metodologías estandarizadas (González-Sandoval y col., 2006), se identificaron por revisión bibliográfica, factores que influyen positiva o negativamente en el crecimiento de microorganismos en dicho sustrato: oxígeno, materia orgánica, pH, humedad, nitrógeno, fósforo y metales pesados biodisponibles.
2. Muestras de jal intemperizado y de jal reciente (tomada directamente del cárcamo para recuperación del agua) fueron tomadas en visitas a la mina en dos temporadas: época de lluvias y época de secas y transportadas a los laboratorios, donde se les mantuvo a temperatura ambiente hasta ser utilizadas en los bioensayos que se mencionan a continuación. Todos los cultivos se mantuvieron en incubación a temperatura ambiente.
3. Se sembraron, *in situ*, muestras del agua de la presa de jales: 1) en caldo nutritivo, 2) en caldo Luria, 3) en medio 9k, 4) en medio de Barr.
 - A. Se ensayó la posibilidad de promover el desarrollo microbiano por adición de agua sobre la superficie de muestras de jal intemperizado y de jal reciente.
 - B. Se cultivaron muestras de jal en una batería de medios nutritivos líquidos: caldo nutritivo, caldo lactosado, caldo urea, caldo maltosado, medio de Barr, medio 9k (Castañeda, 2004).
 - C. Se sembraron en medios de cultivo sólido los medios en que se observó crecimiento microbiano aparente. Se hicieron las resiembras necesarias para el aislamiento e identificación de los microorganismos que se desarrollaron (Koneman y Roberts, 1987; Koneman y col., 1999).



Figura 1. Presa de jales en estudio (la palabra “jal” proviene del náhuatl o azteca “xalli” y significa arenas muy finas, por la molienda que se daba al mineral o mena para la separación de los metales valiosos)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del jal

Se encontraron algunas diferencias en las características físicas de las diferentes muestras de jales; sin embargo, parámetros como el color, la densidad, el pH, la humedad y la ausencia de materia orgánica y de nitrógeno pueden considerarse constantes. La Tabla 1 resume las características promedio de las muestras de jal, tanto para la época de lluvias como para la de estiaje (sequía).

En las muestras que se mantuvieron almacenadas a temperatura ambiente en el laboratorio, el contenido de humedad disminuyó en tres meses de 1 – 5%, lo que provocó un incremento en la compactación (densidad). La falta de porosidad impide el desarrollo de microorganismos aerobios.

En la Tabla 1, se refiere como “sólidos volátiles”, a la diferencia entre el peso seco y el residuo a la ignición. Esta diferencia de peso es atribuible a la posible descomposición de

algunos óxidos metálicos, posiblemente de plomo o de cadmio, ya que la ausencia de efervescencia al adicionar ácido indica que el jal no contiene carbonatos ni bicarbonatos.

Tabla 1: Características del jal de la mina en estudio

| PARÁMETRO | MUESTRA | |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Jal fresco* | Jal intemperizado** |
| Color | Ocre a gris olivo | Gris olivo a olivo |
| Textura | Franco limo-arcillosa | Franco limo-arcillosa |
| Valor de pH | 5.9 - 6.1 | 2.9 - 3.5 |
| Humedad | 18 - 21.4% | 16.5 - 19.0% |
| Residuo a la ignición (a 650°C) | 63.0 - 77.0% | 65.0 - 76.3% |
| Sólidos volátiles (a 650°C) | 24.0 - 37.0% | 24.7 - 35.0% |
| Densidad real | 2.9 - 3.8 g cm ⁻³ | 3.0 - 3.8 g cm ⁻³ |
| Densidad aparente | 1.5 - 2.1 g cm ⁻³ | 1.7 - 2.3 g cm ⁻³ |
| Sólidos solubles | 0.10 - 0.11% | 0.08 - 0.15% |
| Carbonatos o bicarbonatos | No detectables | No detectables |
| Materia orgánica | No detectable | No detectable |
| Nitrógeno Kjeldahl | No detectable | No detectable |

* Determinados en el laboratorio

** Fuente: Lizárraga-Mendiola y col. (2006) y Durán-de-Bazúa y col. (2006)

La concentración de sólidos solubles es muy baja por lo que puede suponerse que no es muy significativo el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua, en el corto plazo. Aunque en muestras de cuerpos receptores aguas abajo de la presa sí se presentan impactos causados por la presa (Lizárraga-Mendiola y col., 2006). En el jal fresco, el pH es próximo a la neutralidad, pero hay un notable incremento de la acidez en el jal intemperizado; el pH ácido facilita la disolución de iones metálicos potencialmente tóxicos.

La ausencia de materia orgánica y de nitrógeno, así como el bajo porcentaje de humedad, que son elementos indispensables para la vida, es responsable de la “aridez” del espacio ocupado por la presa de jales. El pH ácido también es limitante para la vida microbiana, ya que es reducido el número de hongos y bacterias que proliferan a valores de pH<4. Sin embargo, ese cambio de pH puede atribuirse a la actividad de bacterias sulfooxidantes que convierten al ión sulfuro en ión sulfato generando iones hidrógeno (González-Sandoval y col., 2006).

Bioensayos

En los medios de cultivo líquidos, en 24 - 72 horas, hubo evidencia de desarrollo de microorganismos en el caldo nutritivo, que se manifestó como un enturbiamiento ligero, que al microscopio estereoscópico mostraba filamentos cortos y delgados. En los otros medios no se observó enturbiamiento después de 72 horas. Un factor limitante pudo haber sido el pH del agua de la presa.

A. No hubo evidencia de desarrollo de microorganismos en los ensayos que se hicieron: a) Al mantener el jal humedecido, por rocío con agua destilada. b) Al utilizar como líquido de humectación, agua destilada adicionada con azúcar y urea. c) Al utilizar agua *contaminada* (tomada de un acuario). Si bien se mantenía un ambiente húmedo en la superficie, la compactación del sólido no permitía que el agua penetrara al interior del material sólido.

B. Se observó enturbiamiento en todos los caldos nutritivos ensayados, mantenidos a temperatura ambiente durante 7 días. La observación al microscopio mostró la presencia de bacterias en forma de cocos y bacilos cortos aislados. La tinción de Gram mostró que se trataba de cocos gram negativos muy pequeños (ca. 0.9 μm). También se observan fragmentos de filamentos de hongos. En la Figura 2 se muestra la observación al microscopio de una muestra del caldo lactosado inoculado y teñido por la técnica de gram.

El desarrollo de microorganismos que estaban en estado de latencia o como esporas u otras formas de resistencia fue posible, una vez que encontraron un medio propicio: nutrientes, humedad, oxígeno.

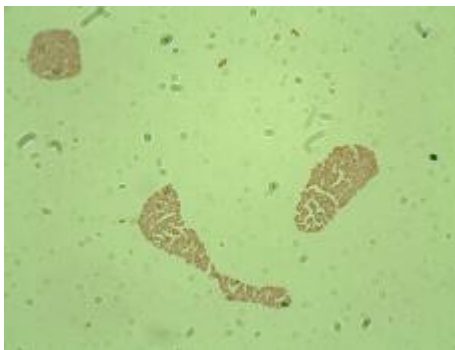


Figura 2. Observación microscópica de cultivo de jal

B. A partir de los cultivos mixtos obtenidos en los medios líquidos, fue posible a través de resiembra en agar nutritivo, medio de Barr, medio 9k, observar y aislar diferentes colonias de bacterias con las siguientes características macroscópicas:

- a) Colonias bacterianas de apariencia lechosa, de color blanco amarillento y forma irregular
- b) Colonias bacterianas de apariencia lechosa de color amarillo-verdoso y forma irregular
- d) Colonias bacterianas de forma redonda y color anaranjado

El cultivo en medio de Sabouraud mostró la presencia del grupo más importante de organismos, hongos, en el que se incluyen algunas levaduras:

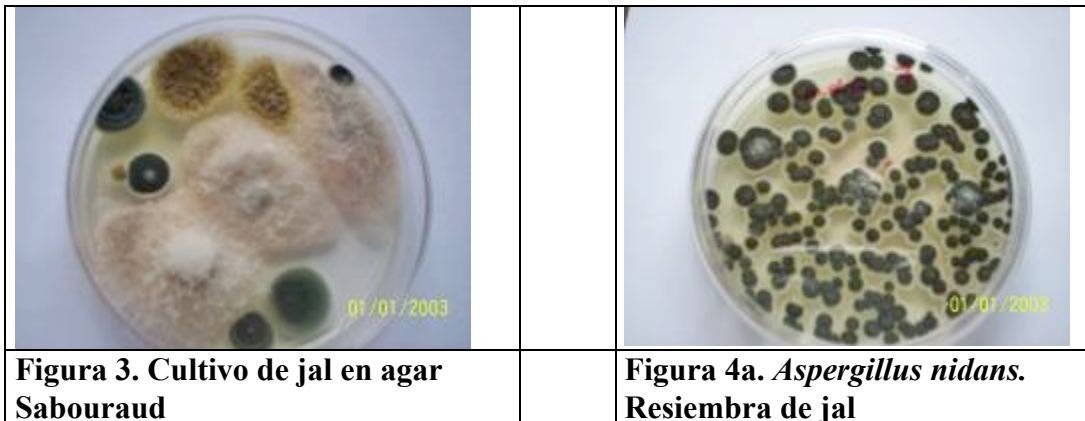
- a) Hongos filamentosos de color verde (2 tipos de colonias)
- b) Hongo filamentosos de color amarillo (3 tipos de colonias)
- c) Hongos filamentosos de color ocre

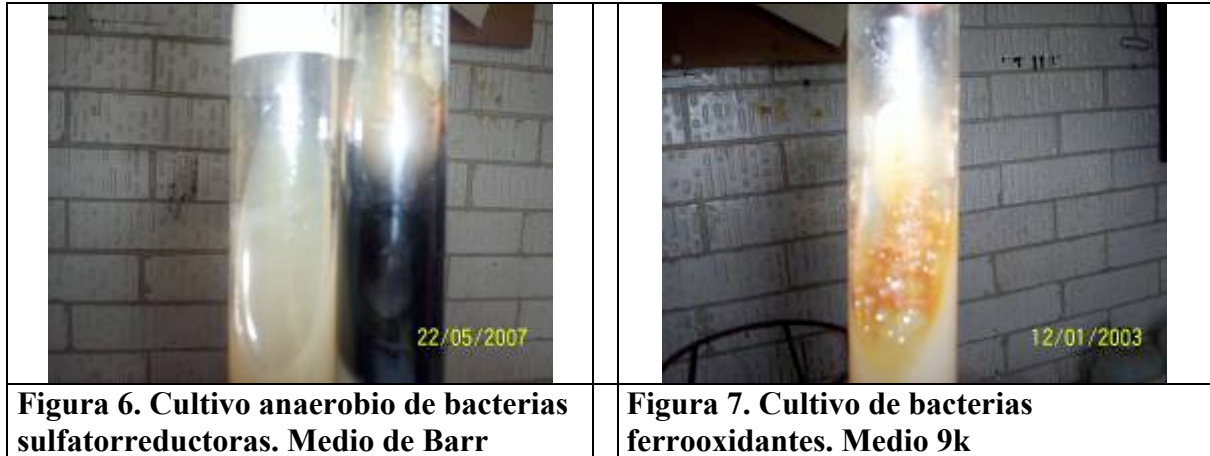
Desde el punto de vista de diversidad parece haber un mayor número de especies de hongos que de bacterias, lo que podría atribuirse a que el pH del jal es ácido. La Figura 3 muestra una placa del medio de Sabouraud, con colonias de hongos filamentosos, que al resemebrarse dos o tres veces permitieron aislar, entre otros, un hongo verde de rápido crecimiento, identificado tentativamente como *Aspergillus nidans*, especie cuya presencia ha sido reportada en minas. La Figura 4a muestra la distribución de las colonias en la placa y la Fig. 4b un acercamiento (Koneman y Roberts, 1987, Koneman y col., 1999). Otro de los hongos filamentosos encontrados fue identificado tentativamente como *Chladobotryum mycophyllum* (Koneman y col. 1987, 1999) y se muestra en la Figura 5. En cuanto a las bacterias, el crecimiento en caldo nutritivo no se presentó en la superficie libre sino en el interior del líquido, por lo que la resiembra se hizo en tubos con medio sólido de Barr, usando la técnica de “pico de flauta” (Daguet y Chabbert, 1977), para lograr el desarrollo de

los organismos anaerobios que se presumía estaban presentes. Se observó el ennegrecimiento del medio de abajo hacia arriba a partir del piquete, como resultado de la presencia de bacterias sulfato-reductoras, identificadas tentativamente como *Desulfococcus* o *Desulfovobrio desulfuricans* (Atrian y col., 2004). Las bacterias sulfatorreductoras convierten al ión sulfato en sulfuro que reacciona con el plomo formando sulfuro de plomo. En la Figura 6 se muestra el tubo de cultivo original en contraste con el tubo inoculado.

Otro medio selectivo que se utilizó fue el medio 9k, que entre sus componentes incluye al ión ferroso. Se observó la oxidación superficial de Fe^{+2} a Fe^{+3} . Se supone que la bacteria responsable de esta oxidación es posiblemente *Thiobacillus ferrooxidans*, organismo que también sería responsable de la acidificación *in situ* del jal intemperizado (Figura 7).

La identificación de microalgas y otros microorganismos está en proceso. Entre los hongos hay colonias que parecen corresponder al género *Fusarium* y al género *Penicillium*. Los aislamientos se mantienen en refrigeración, porque está planeado hacer nuevas resiembras para la identificación microscópica en extensión que permita corroborar esta identificación preliminar.





CONCLUSIONES

Dado que en las muestras de jal están presentes, aunque en forma no visible sino como formas de resistencia, microorganismos nativos (bacterias y hongos), que se desarrollaron al ser sembrados en medios nutritivos que les proporcionaron condiciones favorables para proliferar, si se identifican sus requerimientos mínimos, químicos y fisicoquímicos, podrían favorecerse esas condiciones para colonizar el jal, una vez cerrada la presa de jales, con objeto de reiniciar la remediación de las zonas ocupadas por las presas con objeto de transformar sus capas superiores en suelo. Esos requerimientos implican necesariamente el aporte de nutrientes y la retención de agua y aire. El desarrollo de la biota primaria sería una alternativa que podría facilitar en el mediano plazo, el proceso de recuperación de los suelos que están cubiertos por jales en la zona en estudio.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los estudiantes de la licenciatura en Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), Myrna Granados Chacón, Juan Fernando Montes García y Sandra Ruiz Marín. Se reconoce el apoyo financiero parcial otorgado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (México), a través de los proyectos IN103403 e IN105407-2, así como por parte de la mina cooperante (Industrias Peñoles).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATRIAN, S., CASTRO-ESCARPULLI, A., SUÁREZ-FRANQUET, I., DALMAU, M., MACEK, M., BONILLA, P., VILACLARA, G., FIGUERAS, M.J. (2004). Aislamiento y clasificación de bacterias metalo-resistentes en cuencas hidrográficas de explotación minera del centro de México. Comunicación personal. México D.F. México.
- CASTAÑEDA, B. T. (2004). Microbiología aplicada. Manual de laboratorio. Pub. UAM Azcapotzalco. México D.F. México.
- DAGUET, G.L., CHABBERT, Y.A. (1977). Técnicas en bacteriología. Tomo II: Anaerobios. Editorial JIMS. Barcelona, España.
- DURÁN-DE-BAZÚA, CARMEN (RESPONSABLE), DELFÍN-ALCALÁ, IRMA (CORRESPONSABLE), CANO-RODRÍGUEZ, IRENE, CARRILLO-CHÁVEZ,

- ALEJANDRO, GARCÍA-MEZA, J. VIRIDIANA, GONZÁLEZ-SANDOVAL, MARÍA DEL REFUGIO, LIZÁRRAGA-MENDIOLA, LILIANA GUADALUPE, PACHECO-GUTIÉRREZ, LUIS ALBERTO, PANIZZA-DE-LEÓN, AMALIA, RAMÍREZ-BURGOS, LANDY IRENE. (2006). Aprovechamiento integral del agua y los residuos sólidos en sitios de explotación de minerales. Estudios de caso: Guanajuato y Estado de México / Holistic use of water and solid residues in mining exploitation sites. Case studies: Guanajuato and State of Mexico. Vol. 2. Serie: Química ambiental del suelo. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. Facultad de Química, UNAM. ISBN 970-32-3832-7. 156 pags. 1ª Ed. 50 ejemplares (2005). 193 pags. 2ª Ed. Publicación en disco compacto (2006). México D.F. México.
- GARCÍA-MEZA, J.V., DURÁN-DE-BAZÚA, C. (2007). Microalgas y metales pesados biodisponibles. *Vol. 2. Serie: Ecología microbiana*. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. 167 pags. Facultad de Química, UNAM. ISBN 970-32-2542-X. 50 ejemplares, 1ª Ed. (2004). 2ª Ed. Pub. en disco compacto (2007) México D.F. México.
- GONZÁLEZ-SANDOVAL, M.R., LIZÁRRAGA-MENDIOLA, L., PACHECO-GUTIÉRREZ, L.A., PANIZZA-DE-LEÓN, A., DURÁN-DOMÍNGUEZ, M.C. (2006). Generación de drenajes ácidos de mina: Un problema de contaminación ambiental a largo plazo. En III Simposio Internacional en Ingeniería y Ciencias para la Sustentabilidad Ambiental. Universidad Nacional Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Junio 6-9, 2006. México D.F. México.
- KONEMAN, E.W., ROBERTS, G.D. (1987). Micología. Prácticas de laboratorio. Editorial Médica Panamericana. México D.F. México.
- KONEMAN, E.W., STEPHEN, D.A., JANDA, W.M., SCHRECKENBERGER, P.C., WINN, W.C. (1999). Diagnóstico microbiológico. Texto y atlas en color. Editorial Médica Panamericana.
- LIZÁRRAGA-MENDIOLA, L.G., GONZÁLEZ-SANDOVAL, M.R., PACHECO-GUTIÉRREZ, L.A., DURÁN-DOMÍNGUEZ, M.C. (2006). Hidrogeoquímica en una presa de jales en el Estado de México, México. En XI Congreso Geológico Chileno. Agosto 7-11, 2006. Antofagasta, Chile.
- SEDESOL. (1993). Secretaría de Desarrollo Social. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos. Página electrónica: <http://www.sedesol.gob.mx>