

CIENCIAS EXACTAS Y DE LA TIERRA:

Observación, formulación y predicción



FRANCISCO ODÉCIO SALES
(Organizador)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Ciências exatas y de la tierra: observación, formulación y predicción

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Francisco Odécio Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas y de la tierra: observación, formulación y predicción / Organizador Francisco Odécio Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-908-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.087220703>

1. Ciências exatas. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A obra “Ciencias exactas y de la tierra: Observación, formulación y predicción” aborda uma série de publicações da Atena Editora apresenta, em seus 6 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino, pesquisa e inovação. As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química. O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas. A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas. Neste sentido, essa obra é dedicada aos trabalhos relacionados a pesquisa e inovação. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento. Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada. Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Francisco Odécio Sales

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APLICACIÓN DE LA BIOMASA DEL HONGO *Aspergillus niger* PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN SOLUCIÓN


Ismael Acosta Rodríguez
Nancy Pacheco Castillo
Adriana Rodríguez Pérez
Juan Fernando Cárdenas González
Víctor Manuel Martínez Juárez
Francisco Navarro Castillo
Erika Enríquez Domínguez
Juana Tovar Oviedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207031>

CAPÍTULO 2..... 14

CALIDAD DEL AGUA EN LA REGIÓN CENTRO DE LA MESETA P´URHÉPECHA


Silvano. Velázquez Roque
Miguel Ángel. Madrigal Cardiel.
Ulises. Zurita Luna
Juan. Damián Hernández

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207032>

CAPÍTULO 3..... 25

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO COMPACTO PARA POLIETILENO TEREFTALATO


Miguel Ángel Madrigal Cardiel
Silvano Velázquez Roque
Jesús Maldonado Paleo
Ulises Zurita Luna
Juan Damián Hernández

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207033>

CAPÍTULO 4..... 38

MEDICIÓN DE PROPIEDADES MECANO-ELÁSTICAS (DENSIDAD Y GROSOR) EN PLACAS DELGADAS CON USO DE EFECTO FOTOACÚSTICO

Nestor Antonio Flores Martínez
Valentín Guzmán Ramos
Romeo de Jesús Selvas Aguilar
José Valentín Guzmán
Arturo Alberto Castillo Guzmán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207034>

CAPÍTULO 5..... 52

MODELACIÓN DE PATRONES DE VEGETACIÓN CON ECUACIONES NO LINEALES UTILIZANDO LOS MODELOS HARDENBERG Y LEFEVER

Rebeca Franco

Marco A. Morales
José I. Rodríguez-Mora
Ricardo Agustín-Serrano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207035>

CAPÍTULO 6..... 65

UTILIZAÇÃO DOS EXTRATOS BOTÂNICOS DE FOLHAS DE LARANJA (*Citrus sinensis* L), SOBRE AS FORMIGAS CORTADEIRAS (*Atta sexdens sexdens*) EM CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Antônio Geilson Matias Monteiro
Adriana Dantas Gonzaga de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0872207036>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 73

ÍNDICE REMISSIVO..... 74

CAPÍTULO 1

APLICACIÓN DE LA BIOMASA DEL HONGO *Aspergillus niger* PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN SOLUCIÓN

Data de aceite: 01/03/2022

Ismael Acosta Rodríguez

Laboratorio de Micología Experimental.
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad
Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí,
S.L.P. México
ORCID: 0000-0001-8620-2727

Nancy Pacheco Castillo

Laboratorio de Micología Experimental.
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad
Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí,
S.L.P. México

Adriana Rodríguez Pérez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Unidad Académica Multidisciplinaria Zona
Media. Río Verde, San Luis Potosí, México

Juan Fernando Cárdenas González

Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Unidad Académica Multidisciplinaria Zona
Media. Río Verde, San Luis Potosí, México
ORCID: 0000-0002-3502-5959

Víctor Manuel Martínez Juárez

Área Académica de Medicina Veterinaria y
Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México
ORCID: 0000-0002-7426-6835

Francisco Navarro Castillo

Laboratorio de Micología Experimental.
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad
Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí,
S.L.P. México
<https://scholargoogle.com.mx> Francisco Navarro
Castillo

Erika Enríquez Domínguez

Laboratorio de Micología Experimental.
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad
Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí,
S.L.P. México
ORCID: 0000-0001-6133-1768

Juana Tovar Oviedo

Laboratorio de Microbiología. Facultad de
Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de
San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P. México
<https://www.semanticscholar.org> Juana Tovar
Oviedo

RESUMEN: En este trabajo, se analizó la capacidad de remoción de mercurio (II) en solución acuosa por la biomasa del hongo *Aspergillus niger* por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. El hongo crece hasta en 2000 ppm del metal (20.3% de crecimiento con respecto al control). Se evaluó la bioadsorción a diferentes valores de pH (3.5, 4.5 y 5.5) y a diferentes tiempos. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C hasta 45°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de mercurio (II) de 100 a 500 mg/L. La mayor bioadsorción (83.2% con 100 mg/L del metal y 1 g de biomasa) fue a las 24 h, a pH de 5.5. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción fue a los 28°C, con un 83.2% de remoción a las 24 h, y a mayores concentraciones de biomasa, la remoción fue más eficiente (100%, 12 h y 5 g de biomasa). La biomasa natural mostró una excelente capacidad de remoción del metal *in situ*, 69% de remoción a partir de aguas contaminadas, a los 7 días de

incubación y 5 g de la biomasa (100 mL de agua), por lo que se puede utilizar para eliminarlo de aguas residuales industriales.

PALABRAS CLAVE: Remoción, biomasa, *Aspergillus niger*, mercurio.

APPLICATION OF THE BIOMASS OF THE FUNGUS *Aspergillus niger* FOR THE REMOVAL OF MERCURY IN SOLUTION

ABSTRACT: In this work, the removal capacity of mercury (II) in aqueous solution by the biomass of the *Aspergillus niger* fungus was analyzed by the Atomic Absorption Spectrophotometry method. The fungus grows up to 2000 ppm of the metal (20.3% growth with respect to the control). Bioadsorption was evaluated at different pH values (3.5, 4.5 and 5.5) and at different times. The effect of temperature in the range of 28°C to 45°C and removal at different initial concentrations of mercury (II) of 100 to 500 mg/L were also studied. The highest bioadsorption (83.2% with 100 mg/L of the metal and 1 g of biomass) was at 24 h, at a pH of 5.5. Regarding temperature, the highest removal was at 28°C, with 83.2% removal at 24 h, and at higher biomass concentrations, removal was more efficient (100%, 12 h and 5 g of biomass). The natural biomass showed an excellent in situ metal removal capacity, 69% removal from contaminated water, at 7 days of incubation and 5 g of biomass (100 mL of water), so it can be used for remove it from industrial wastewater.

KEYWORDS: Removal, biomass, *Aspergillus niger*, mercury.

INTRODUCCIÓN

El mercurio y los compuestos de mercurio están presentes en numerosos tipos de productos de consumo e industriales, por ejemplo: Extracción de oro y plata de las minas, auxiliar en la producción de químicos de cloro-álcali, en manómetros, termómetros, interruptores eléctricos y electrónicos, lámparas fluorescentes, amalgamas dentales, aleado con otros metales, en la fabricación de pilas, como biocidas en la industria del papel, en pinturas o en semillas, antisépticos en productos farmacéuticos, para análisis químicos, y como catalizadores, para hacer más eficaz la fabricación de otras sustancias químicas, en pigmentos y tintes, detergentes y explosivos (Rocha-Román y cols., 2018). En el medio ambiente acuático, el mercurio elemental probablemente quedará unido al sedimento y luego será transportado por las corrientes marinas o fluviales. Una parte del mercurio permanece disuelta en el agua. En los sistemas acuáticos, los microorganismos ahí presentes de manera natural pueden transformarlo en metilmercurio, un compuesto organometálico que es más tóxico a dosis bajas que el mercurio en estado puro. El metilmercurio pasa a formar parte de la cadena alimenticia acuática, se bioacumula y se biomagnifica, de esta manera puede ser transportado posteriormente por las especies migratorias (Bell y cols., 2014). La exposición ocupacional al mercurio sigue siendo un problema actual para los trabajadores de muchas industrias como la minería del mercurio, producción de cloro-álcali, fabricación de termómetros, lámparas fluorescentes, baterías y otros productos que contienen mercurio, extracción y refinación de oro, plata, cobre y níquel

quienes sufren la mayor exposición son los millones de trabajadores de la extracción de oro artesanal y aquellos que extraen el metal en pequeña escala. Estos mineros usan mercurio elemental para separar el oro de los desechos de roca, generalmente en condiciones poco o nada controladas. Como resultado de ello, los mineros, sus familias y sus comunidades están muy expuestos al metal, con sus muy graves consecuencias para su salud (Bell y cols., 2014).

LA PRODUCCIÓN DE MERCURIO EN MÉXICO

Los minerales de mercurio se encuentran localizados principalmente en las siguientes entidades federativas (en particular en el noroeste y centroeste del territorio): Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas, ubicándose los principales yacimientos en los estados de: San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro, Guanajuato y Guerrero (Figura 1, cuadros negros) (Consejo de Recursos Minerales 2002).

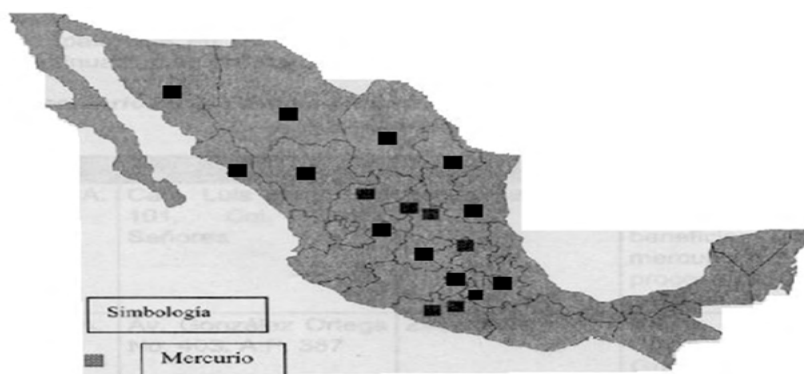


Figura 1.- Modificada de: Principales yacimientos de mercurio en la República Mexicana. (Consejo de Recursos Minerales 2002).

Se tienen registros de la producción de mercurio en México desde 1891, y en los últimos años se ha mostrado la misma tendencia descendente que la producción mundial. Entre 1920-1929 su producción fue mínima y alcanzó su máximo de 1,118 toneladas en 1942; en 1991 se produjeron 340 toneladas de mercurio, mientras que en 1994 sólo 11 toneladas. A partir de 1995 no se tienen registros de su extracción minera (Consejo de Recursos Minerales 2002). Sin embargo, la producción secundaria de mercurio continúa, en particular, al recuperarlo como subproducto de la extracción de plata y oro a partir de jales (desechos) mineros en el estado de Zacatecas, donde se producen alrededor de 20 toneladas anuales. Entre las plantas productoras de minerales metálicos registradas en

la Cámara Minera de México, se han descrito cuatro, que se dedican a la producción de mercurio a partir del beneficio de minerales y de jales de mercurio, las cuales se encuentran ubicadas en los estados de San Luis Potosí, Durango y Zacatecas. Asimismo, se tiene conocimiento que hasta hace algunos años operaban dos plantas más en el estado de Zacatecas, que benefician jales por el proceso de lixiviación, utilizando hiposulfito de sodio, para obtener oro y plata como producto y mercurio como subproducto, y debido a la reducción de los usos comerciales del metal tanto a nivel internacional como en México, y por la saturación del mercado nacional, se ha reducido su producción hasta haber dejado de producirlo desde 1995 a la fecha (INE 2001).

Por lo anterior, la situación que se vive en México con respecto a la contaminación y/o producción de mercurio, es contradictoria, pues a pesar de las disposiciones normativas formuladas, que limitan las emisiones de mercurio a la atmósfera y al agua y controlan la eliminación de residuos que contienen mercurio, el elemento no ha sido regulado como producto comerciable y se ha hecho poco por fomentar entre la población una adecuada conciencia en cuanto a la exposición al mercurio y la reducción de sus riesgos, y de acuerdo con el Artículo 7° de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los residuos peligrosos son de competencia de la federación, mientras que la NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, incluyendo aquellos que contienen mercurio, incluyendo diversos residuos con mercurio, clasificados como residuos peligrosos, y se establece como criterio de toxicidad la concentración de diversas sustancias en el extracto PECT (cuyo proceso se establece en la NOM-053-SEMARNAT-1993), siendo de 0.2 mg/L para el caso de mercurio.

ANTECEDENTES

La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones. Este método tiene como objetivo principal la remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes del sector industrial, usando como sorbentes diferentes materiales de origen biológico (vivos o muertos), tales como: algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos tipos de biopolímeros. Estos materiales son de bajo costo y se encuentran en gran abundancia en la naturaleza, además, su transformación a biosorbente no es un proceso costoso (Acosta Rodríguez y cols., 2012; Tejada Tovar y cols., 2015). El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida (en este caso, los iones de los metales pesados).

Investigaciones recientes sobre la adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales, realizadas a nivel mundial, revelan la capacidad de adsorción de diferentes biomasas naturales como *Aspergillus versicolor* (Das et al., 2007); carbones

activados (Colpas et al., 2016); *Omphalina* sp. (Purwaningsih et al., 2016); *Escherichia coli*, *Pseudomonas putida*, *Serratia marcescens* y *Xanthomonas* sp. (Ashraf y Essa, 2012); *Phanerochaete chrysosporium* (Bashardoost et al., 2010); *Rhizopus oligosporus* (Ozsoy 2010); sílica biogénica modificada con L- cisteína (Chaves et al., 2011); diferentes hongos contaminantes ambientales (Martínez Juárez et al., 2012); y el hongo *Mucor hiemalis* (Hoque y Fritscher, 2016). Por lo anterior, es de gran interés analizar otros microorganismos capaces de eliminar el mercurio (II) de aguas y suelos contaminados con dicho metal, como la biomasa del hongo contaminante ambiental *Aspergillus niger*, microorganismo que podría remover el mercurio por interacción con los componentes estructurales de la pared celular, como los grupos carboxilos y amino. Además, una ventaja del uso de este hongo como biomasa, es que se puede propagar de manera muy fácil y económica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Bioadsorbente utilizado y obtención de la biomasa fúngica

Se trabajó con una cepa de *A. niger* que crece en 2000 mg/L de mercurio (II), aislada del aire contaminado de una zona adyacente a la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP, San Luis Potosí, S.L.P., México, en el mes de junio de 2015; y se identificó en función de sus características morfológicas, tanto macroscópicas como microscópicas (López Martínez et al., 2004). La cepa fúngica se mantuvo de manera rutinaria en agar de dextrosa y papa. Para la obtención de la biomasa, se sembraron 1×10^6 esporas/mL del hongo en matraces Erlenmeyer de 1 L, que contenían 600 mL de caldo tioglicolato, incubándose durante 5 días a 28 °C y 100 rpm. Después, la biomasa se obtuvo por filtración y se lavó con 200 mL de agua tridesionizada. El producto se molió en una licuadora y se almacenó en frascos ámbar hasta su uso. Soluciones de Mercurio (II).

Se trabajó con 100 mL de una solución de 100 mg/L de mercurio (II) obtenida por dilución de una solución patrón de 1 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de cloruro de mercurio. Se ajustó el pH de la dilución a analizar con H_2SO_4 1 M o NaOH 1 M, antes de adicionarlo a la biomasa.

Prueba de Resistencia al Mercurio

Se inocularon 1×10^6 esporas/mL en 12 matraces Erlenmeyer de 250 mL, conteniendo 100 mL de medio mínimo de Lee modificado (LMM), conteniendo 1.0 % de agar, 0.25 % de KH_2PO_4 , 0.20 % de MgSO_4 , 0.50 % de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.50 % de NaCl y 0.25 % de glucosa como fuente de carbono, y complementado con concentraciones crecientes de mercurio (II), como cloruro de mercurio (0-2000 mg/L), incubando a 28°C a 100 rpm durante 7 días. Después, se cosechó el sobrenadante en un tubo graduado, previamente pesado, y se centrifugó a 3000 rpm/10 min, desechando el sobrenadante. El paquete celular se secó a 80°C, durante 12 h, y se pesó el tubo, determinando por diferencia el peso seco de la

muestra, comparando el crecimiento con un control crecido en las mismas condiciones sin la adición de mercurio (II). Todos los experimentos se realizaron mínimo 3 veces por duplicado.

Estudios de remoción de mercurio (II)

La concentración de mercurio (II) en solución, se determinó por Espectrofotometría de Absorción Atómica por generación de hidruros (SSA, 1994).

RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra que, a medida que se aumenta la concentración del metal (200-2000 mg/L) en la solución, el crecimiento de *A. niger* en el medio de Lee, disminuye en relación con el control, pues con 2 g/L de mercurio (II), el crecimiento fue de aproximadamente un 20.3 % de crecimiento con respecto al control (85,4 mg de peso en seco sin metal).

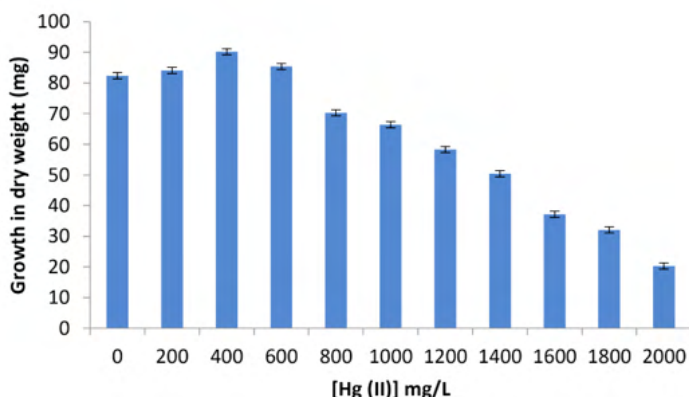


Figura No. 2. Crecimiento en peso seco de *A. niger* con diferentes concentraciones de mercurio (II), 1×10^9 esporas/mL, 28°C, 7 días de incubación y 100 rpm.

Con respecto al efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de 100 mg/L de mercurio (II) por la biomasa del hongo *A. niger*, se observó que la mayor bioadsorción ocurre a las 24 horas y a un pH de 5.5, con una remoción del 83.2 % (Figura 3).

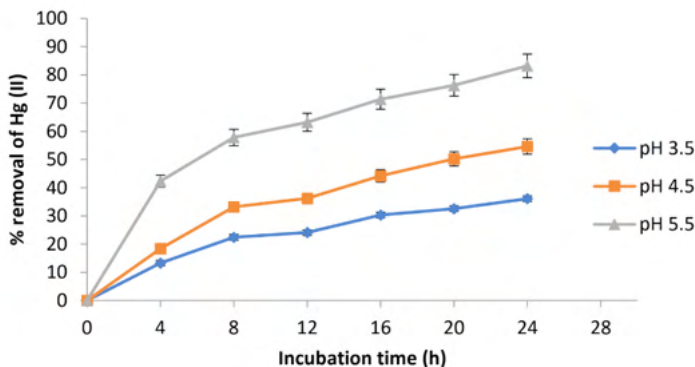


Figura No. 3. Efecto del tiempo de incubación y pH sobre la eliminación de mercurio (II) por la biomasa de *A. niger* 100 mg / L Hg (II), 100 rpm, 28°C, 1 g de biomasa.

Con relación al efecto de la temperatura de incubación, la temperatura óptima para la remoción de mercurio (II) fue de 28 °C, con un porcentaje de remoción de 85 %. Dichos resultados se ilustran en la Figura 4.

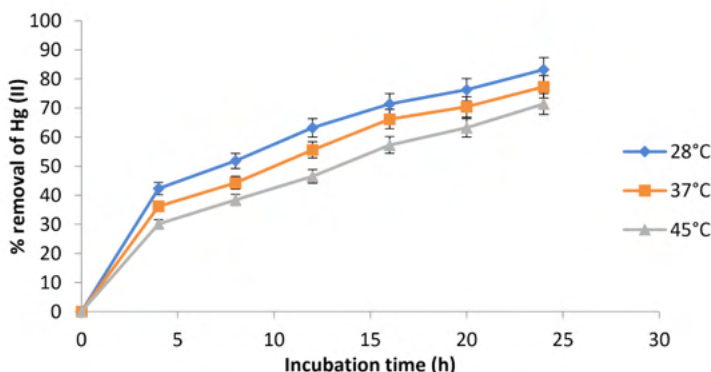


Figura No. 4. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de mercurio (II) por la biomasa de *A. niger* 100 mg / L de Hg (II), 100 rpm, 28°C. 1 g de biomasa.

Además, la concentración inicial del metal influye en su remoción, pues el porcentaje de remoción es menor a medida que se aumenta la concentración del contaminante, debido a que, al haber mayor cantidad del metal disponible, hay menor interacción de las moléculas del contaminante con los sitios de adsorción de la biomasa (Figura 5).

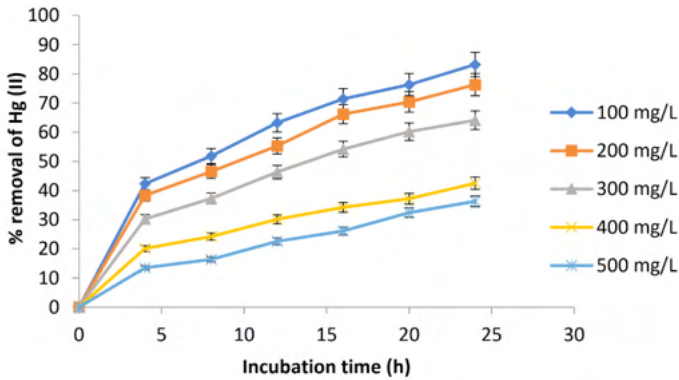


Figura No. 5. Efecto de la concentración inicial de metal sobre la remoción de mercurio (II) por la biomasa de *A. niger*. 100 rpm, 28 ° C. 1 g de biomasa.

Por otro lado, al aumentar la concentración de la biomasa, aumenta la eficiencia de remoción, pues con 5 g de biomasa, el tiempo de remoción es menor para el metal analizado (Figura 6).

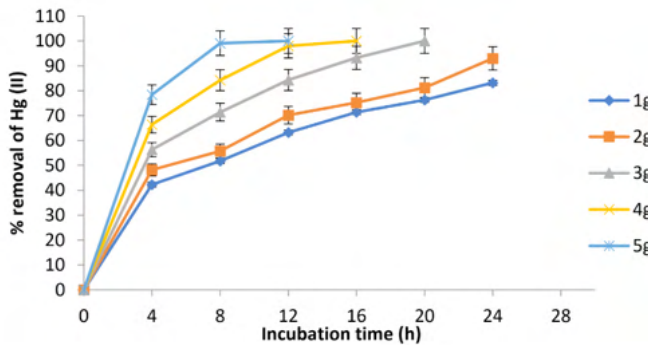


Figura No. 6. Efecto de la concentración de biomasa sobre la remoción de 100 mg/L de mercurio (II) por la biomasa de *A. niger*. 100 rpm, 28°C.

Finalmente, se evaluó la remoción del metal durante un periodo de incubación de 7 días en aguas contaminadas naturalmente (concentración inicial 183 mg/L), obteniendo una remoción del 69 % al final del experimento (Figura 7). Las muestras fueron obtenidas del Tanque Tenorio, localizado al este de la ciudad de San Luis Potosí, México. Originalmente, era una depresión natural y desde finales de los años setenta del siglo XX, se empezó a utilizar de manera continua para descargas industriales y en menor grado, para aguas residuales domésticas (López Álvarez, 2012). Esas aguas se han utilizado para irrigación de cultivos en zonas aledañas, impactando en gran medida la salud y los acuíferos subterráneos de la zona (COTAS, 2005). Se identificó que esas fuentes de contaminación

contienen metales pesados como: Hg, Ba, Sr, Cd, Pb, Ag, Rb, Co, Cu, Fe and As, y algunos de ellos exceden los límites permisibles para el consumo humano (NOM-127- SSA1-1994).

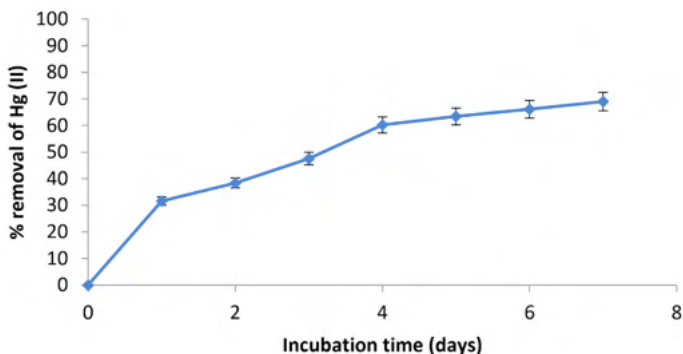


Figura No. 7. Eliminación de mercurio (II) en desechos industriales incubados con 5 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, pH 8.2, 100 mL de agua contaminada, (183 mg/L).

DISCUSIÓN

La cepa fúngica creció un 20.3% con 2 g /L de mercurio (II), con respecto al control sin metal. Diferentes microorganismos que son resistentes a este metal han sido aislados de diferentes sitios contaminados, Giovanella y cols., (2017), reportaron que las bacterias: *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas sp.*, *Alcaligenes faecalis* y *Brevundimonas sp.*, que se aislaron de residuos y efluentes contaminados con diferentes metales, crecieron con 10 μ M de mercurio. Mahbub y cols., (2016), aislaron *Sphingobium*, una cepa bacteriana altamente resistente al mercurio de suelo contaminado, con valores estimados de CE50 de 4.5 mg/L y 44.15 mg/L y valores de MIC de 5.1 mg/L y 48.48 mg/L; Koushalshahi y cols., (2012), aislaron la bacteria *Streptomyces sp.*, a partir de sedimentos marinos en diferentes regiones del Mar Caspio, que crece a 20 y 40 mg/L de mercurio. Sin embargo, el mecanismo de tolerancia en esta cepa de hongo de *A. niger* no se conoce.

Uno de los problemas ambientales más importantes que se relacionan con la contaminación de agua y suelo en el país, es el vertido directo de metales pesados altamente contaminantes, lo cual constituye un peligro para el equilibrio y el funcionamiento natural de los ecosistemas acuáticos. Uno de estos metales es el mercurio, utilizado en procesos de extracción y purificación de oro artesanal. La bioadsorción, a través del uso de microorganismos y residuos agroindustriales, ha demostrado ser una alternativa para el tratamiento de matrices acuáticas contaminadas por metales, es una tecnología limpia, eficiente y económica para los procesos de remediación ambiental. Los principales factores asociados al proceso de adsorción de mercurio (II) por la biomasa del hongo *A. niger*, establecieron que este biomaterial tiene un alto potencial en la remoción de este metal,

logrando una remoción máxima del 83.2% (100 mg/L y 1 g de biomasa) a las 24 h, pH de 5.5 y 28°C. La evidencia experimental muestra un fuerte efecto de las condiciones experimentales. Los valores máximos de la capacidad de bioadsorción mostraron que este biosorbente, es muy efectivo en la recuperación y/o eliminación de iones de mercurio de sistemas acuáticos.

Finalmente, se observó que, a los 7 días de incubación con la biomasa fúngica, la concentración del metal de las muestras de aguas residuales disminuye un 69%. En la literatura se ha reportado la capacidad del quitosano impregnado con bromuro de etilhexadecildimetilamonio para la eliminación de cadmio y mercurio, preparando dos efluentes sintéticos diferentes que contenían Cd (II) en la primera, y Hg (II) en la segunda (composición similar a la de los efluentes reales) y se determinó la eficiencia de adsorción para estos iones metálicos. Los resultados muestran una eliminación de 86.4% y 73.8% para Cd (II) y Hg (II), respectivamente (Shekhawat y cols., 2017). La utilización de nanopartículas de selenio biogénicas y goetita elimina un 81.2% del mercurio, a partir de agua subterránea contaminada (Wang y cols., 2018). La remoción del 99% del metal de soluciones acuosas, después de 10-48 h posteriores a la exposición inicial a mercurio (II), del agua subterránea de Munich, con una nueva cepa *Mucor hiemalis* EH8 que acumula mercurio (Hoque y Fritscher, 2016). Finalmente, en la Tabla No.1, se muestra la capacidad de remoción de mercurio (II) por diferentes biomásas.

Adsorbente	pH	Capacidad de adsorción mg/g	Referencia
<i>Aspergillus niger</i>	5.2	3.2	Karunasagar, y cols., 2003
<i>Aspergillus versicolor</i>	5.0-6.0	75.6	Das y cols., 2007
Different fungal biomasses	5.5	78.3-95.3	Martínez-Juárez y cols., 2012
Eucaliptus leaves	5.0-6.0	129.87	Alimhammadi y cols., 2017
Impregnated chitosan	3.0	43.3	Shekawat y cols., 2017
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	6.0	72.46	Bashardoost y cols., 2010
<i>Pleurotus sapidus</i>	6.0	207.89	Yalcinkaya y cols., 2002
<i>Rhizopus oligosporus</i>	6.0	33.33	Ozsoy, 2010
Silica gel modified	3.0-7.0	0.20	Chaves y cols., 2011
<i>Aspergillus niger</i>	5.5	83.2	Este trabajo

Tabla No 1. Comparación de la capacidad de adsorción de Hg (II) con diferentes bioadsorbentes.

Como se observa en la tabla anterior, la cepa utilizada en este trabajo tiene buena eficiencia de remoción, y es de la misma especie utilizada por Karunasagar, y cols., (2003), y es mucho más eficiente en la remoción del metal, lo cual puede deberse a que ellos utilizaron un bioadsorbente preparado a partir de la biomasa del hongo tratada con hidróxido de potasio al 5% y caliente, y el metal utilizado fue inorgánico (HG²⁺) y metil mercurio (HgCl³).

Además, algunos hongos que tienen la capacidad de remover mercurio en solución, también pueden eliminar otros metales como el cromo (VI) y el arsénico (III y V) (Acosta-Rodríguez y cols., 2017; Santos y cols., 2017), y estos resultados confirman la capacidad de esta biomasa para ser utilizada en la biorremediación de metales pesados de nichos contaminados, como la laguna del Tanque Tenorio descrita anteriormente.

Por otro lado, el pH y la temperatura son parámetros críticos en la remoción de metales pesados, en este trabajo se encontró que el pH y la temperatura óptimos para la remoción de mercurio (II) fueron 5.5 y 28°C, con un porcentaje de remoción de 85%, y con respecto a su remoción en presencia de otros metales pesados, éstos sí pueden influir en la remoción del mercurio, aunque no de manera significativa, sobre todo el del pH, pues otros metales pesados se remueven a otros pH's, como la temperatura es parecida a la media ambiental, ésta no influiría de manera significativa en la remoción.

Finalmente, una limitante para su aplicación en lugares contaminados, sería el tiempo de contacto de la biomasa con el metal, porque se requieren 24 horas de contacto para tener una buena eliminación del mismo, y en suelos puede influir el viento, la lluvia y la presencia de basura y animales, y en aguas, la mayoría de éstas son aguas corrientes lo cual impediría un tiempo de contacto prolongado con la biomasa, y por lo tanto la eficiencia de remoción puede disminuir, aunque nosotros pensamos que se puede aumentar la cantidad de biomasa para tratar de optimizar el proceso, o inicialmente trabajar en aguas estancadas.

CONCLUSIONES

1. La remoción de Hg (II) por la biomasa de *A. niger* fue de 83.2%, a pH 5.5, 28°C, 24 h, 100 rpm y 100 mg/L.
2. La biomasa del hongo *A. niger* demostró una excelente capacidad de remoción del metal *in situ*, con un 68% de remoción en aguas industriales contaminadas, a los 7 días de incubación, 5 g de biomasa y con 100 mL de agua, a un pH de 8.2
3. Las condiciones óptimas para la bioadsorción del metal con la biomasa de *A. niger* fueron: T = 28°C y pH de 5.5, 100 rpm, 24 h de incubación, 100 mg/L del metal y 5 g de biomasa, mientras que en el agua contaminada fueron T= 28°C, pH 8.2, 100 rpm, 7 días de incubación, 183 mg/L del metal y 5 g de biomasa.
4. El proyecto es viable para aplicarse en sitios contaminados, ya que se comprobó con agua contaminada naturalmente, obteniendo una buena adsorción del metal, utilizando las condiciones descritas en este trabajo, y de preferencia en aguas estancadas.

REFERENCIAS

- Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-González, J.F., Moctezuma-Zárate, M.G., Rodríguez Pérez, A. y Martínez-Juárez, V.M. 2017. Hexavalent Chromium (VI) Removal by *Aspergillus niger*. In: "Metal-microbe interactions and bioremediation: Principles and Applications for Toxic Metals". Editor: Surajis Das. CRS Press Book. Taylor Francis. Chapter 42, pp. 673-688. ISBN: 9781498762434 (ebook).
- Amanullah, M., Ali, A., Ping, W., Quan, W., Shen Feng, S., Lahori, A.H., Ronghua, L., Awasthi, M.K., Zengqiang, Z. y Öztürk, M. 2016. Soil Amendments for Heavy Metal Immobilization Using Different Crops. Soil Science: Agricultural and Environmental. K.R. Hakeem et al. (eds.). Springer International Publishing Switzerland. pp. 371-399. ISBN 978-3- 319-34451-5 (eBook).
- Ashraf M. y Essa, M. 2012. The effect of a continuous mercury stress on mercury reducing community of some characterized bacterial strains. African Journal of Microbiology Research. Vol. 6, No. 18, pp. 4006-4012.
- Bashardoost, R., Vahabzadeh, F., Shokrollahzadeh, S. y Ali Reza, M. 2010. Sorption Performance of Live and HeatInactivated Loofa-Immobilized *Phanerochaete chrysosporium* in Mercury Removal from Aqueous Solution. Iran Journal of Chemistry and Chemical Engineering. Vol. 29, No. 4, pp. 79-89. Bell, L., DiGangi, J. and Weinberg, J. 2014. Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de Minamata sobre mercurio para las ONG. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN). Un futuro sin tóxicos. 1ª. Ed. Chaves, M.R.M, Valsaraj, K. T., DeLaune, R.D., Gambrell, R.P. y Buchler, P.M. 2011. Mercury uptake by biogenic silica modified with L-cysteine. Environmental Technology. Vol. 32, No. 14, pp. 1615- 1625.
- Colpas, F., Tarón A. A. y Fon, W. 2016. Adsorción de Mercurio Utilizando Carbones Activados Modificados con Peróxido de Hidrogeno y Calentamiento. Información Tecnológica. Vol. 27, No. 5: 69-76. Comité Técnico del Agua Subterránea (COTAS), 2005. Estudio técnico respecto a las condiciones geohidrológicas y sociales del acuífero 2411 "San Luis Potosí" en el Estado de San Luis Potosí: San Luis Potosí, Comité Técnico de Agua Subterránea del Acuífero del Valle de San Luis Potosí, reporte, 74 p.
- Das, S., Das, A.R. y Guha, A. 2007. A Study on the Adsorption Mechanism of Mercury of *Aspergillus versicolor* Biomass. Environmental Science and Technology. Vol. 41, pp. 8281–8287.
- Giovanella, P., Cabral, L., Pereira Costa, A., de Oliveira Camargo, F.A., Gianello, C. y Menezes Bento, F. 2017. Metal resistance mechanisms in Gram-negative bacteria and their potential to remove Hg in the presence of other metals. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 140, pp. 162 – 169.
- Hoque, E. y Fritscher, J. 2016. A new mercury accumulating *Mucor hiemalis* strain EH8 from cold sulfidic spring water biofilms. Microbiology Open. pp. 1-19. Karunasagar, D., Arunachalam, J., Rashmi, K., Naveena Lavanya Latha, J. and Maruthi Mohan, P.2003. World Journal of Microbiology & Biotechnology. Vol. 19, pp. 291–295. Koushalshahi, M.B., Issazadeh, K., Tehranifard, A., Khoshkholgh Pahlaviani, M.R. y Massiha, A. 2012. Isolation of Hg and Cu resistant *Streptomyces* from marine sediments in different regions of the Caspian Sea. African Journal of Microbiology Research. 6(18): 4048-4052.
- López Álvarez, B. 2012. Cambios de uso de suelo y su impacto en el sistema acuífero del valle de San Luis Potosí, aplicando modelación numérica", Tesis Doctoral En Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología, San Luis Potosí, S.L.P., México.
- López Martínez, R., Méndez Tovar, L.J., Hernández Hernández, F. y Castañón Olivares, R. (2004). Micología Médica. Procedimientos para el Diagnóstico de Laboratorio. Ed. Trillas. México. 2ª. Ed.

Mahbub, K.R., Kannan Krishnan, K., Megharaja, M. y Naidua, R. 2016. Bioremediation potential of a highly mercury resistant bacteria strain *Sphingobium* SA2 isolated from contaminated soil. *Chemosphere* 144: 330–337.

Martínez Juárez, V. M., Cárdenas-González, J.F., Torre-Bouscoulet, M.E. y Acosta Rodríguez, I. 2012. Biosorption of mercury (II) from aqueous solutions onto fungal biomass. *Bioinorganic Chemical and Applications*. Vol. 2012. Article-ID 156190, 5 pages.

NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, Fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. -NOM-127-SSA1-1994, Modificación a la Norma Oficial Mexicana, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. “Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.

NORMA Oficial Mexicana NOM-147- SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

NOM-052-SEMARNAT 2005. Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. 23 de junio de 2006.

NOM-053-SEMARNAT-1993. Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Ozsoy, H.D. 2010. Biosorptive removal of Hg (II) ions by *Rhizopus oligosporus* produced from corn-processing wastewater. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 9, No. 51, pp. 8783-8790.

Purwaningsih, D., Artika, M. y Suharyanto, T.P. 2016. Biosorption Copper (Cu) and Mercury (Hg) by *Omphalina* sp. using Batch, Rotary, Biotray, and Pack Bed Flow Methods. *Current Biochemistry*. Vol. 3, No. 1, pp. 1-12.

Santos, E.E., Cárdenas, J.F., Torre, M.E., Martínez, V.M., Rodríguez, A. y Acosta, I. 2017. Bioadsorción de arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus niger*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. Vol. 8, No. 2, pp. 1-10. Shekhawata, A., Kahua, S., Saravanab, D. y Ravin Jugadea, R. 2017. Removal of Cd(II) and Hg(II) from effluents by ionic solid impregnated chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*. 104: pp. 1556–1568.

Srivastava, S. y Dwivedi, A. 2015. Biological Wastes the Tool for Biosorption of Arsenic. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. Vol. 7, No. 1, pp. 323- 326. Tejada Tovar, C., Villabona Ortíz, A. y Garcés Jaraba, L. 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, Vol. 18, No. 34, pp. 109-123.

Wang, X., Zhang, D., Qian, H., Liang, Y., Pan, X., & Gadd, G.M. 2018. Interactions between biogenic selenium nanoparticles and goethite colloids and consequence for remediation of elemental mercury contaminated groundwater. *Science of the Total Environment*. 613–614: 672–678.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Arsénico 11, 13, 15, 16, 21, 22

Aspergillus niger 1, 2, 5, 12, 13

B

Biomasa 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

C

Calidad del agua 14, 15, 16, 17, 18, 22, 24

Controle alternativo 65

D

Densidad 28, 33, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 59

Desertification 52, 53, 63

Diseño 25, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 39, 46

Dureza 14, 15, 16, 18, 19, 23, 24

E

Ecohydrology 53, 62

Efecto fotoacústico 38, 39, 49, 50

G

Grosor 38, 40, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49

H

Hoja metálica 38

I

Insetos pragas 65

L

Láser rojo 38

Ley de Hook 38

M

Mercurio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15

Molino 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 36

P

Pet 25, 26, 27, 28, 30, 32, 36

Plomo 13, 15, 16, 21, 22

R

Remoción 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11

S

SDT 14, 15, 20, 23

Simulación 25, 26, 27, 36, 38, 44, 46, 56

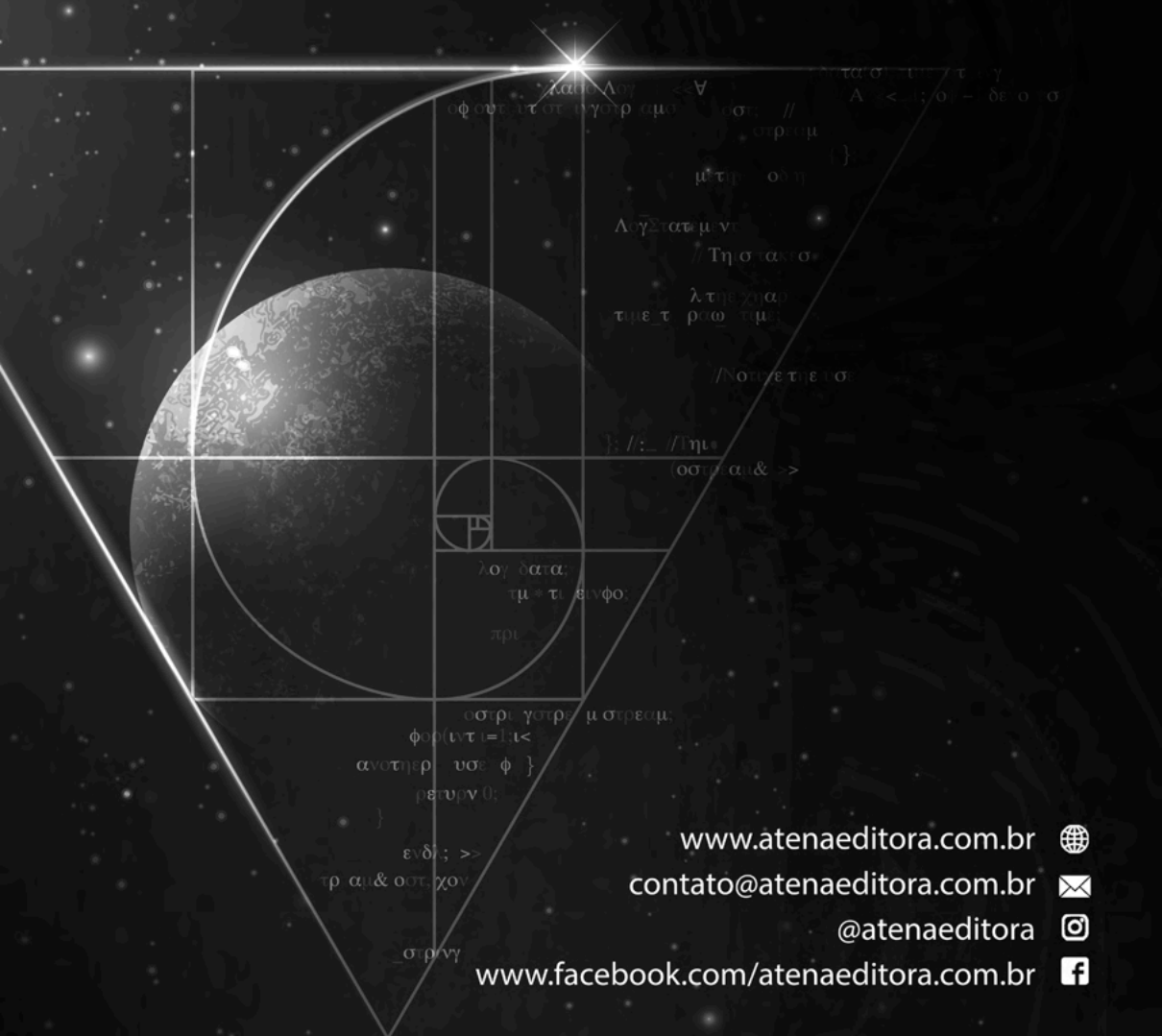
Solidworks 26


V


Vegetation-patterns 53


CIENCIAS EXACTAS Y DE LA TIERRA:


Observación, formulación y predicción



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

CIENCIAS EXACTAS Y DE LA TIERRA:

Observación, formulación y predicción



λογισμολογία <V> δατάσ - υπ / τ / γ
οφ ουτ ιτ στ ι γορ τιμ ο ο σσι // Α < < ι; οδ - δ α ο - ο
οφ ο μ
μ τη ο ο η
{
Λογισμολογία
// Τη στασις
λ τη ρ ι α ρ
τι με τ ρ ω τι με
// Νομ ε τη ρ ο σ
}; // - // Τη ρ
ι ο σ σ ι α & >>
λογ δ α τ α
τι μ * τ ι ε ι φ ο
π ρ ι
ο σ σ ρ ι γ ο ρ ρ ι μ σ τ ρ ε α μ
φ ο ρ ι ι τ ι = ι ι <
α ν ο τ η ρ υ σ ε φ }
ρ ε τ υ ρ η θ ;
} ε ν δ ι ; >>
τ ρ α ι & ο σ σ ι χ ο ν
_ σ τ ρ α γ γ

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

www.facebook.com/atenaeditora.com.br