



Capacidad biosortiva del *Nostoc commune* en la separación del plomo de aguas contaminadas

Biosortive capacity of *Nostoc commune* in separating lead from contaminated waters

ARTÍCULO DE REVISIÓN



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.195>

Capacidade biosortiva do *Nostoc Commune* na separação da cabeça de águas contaminadas

Edwin Rojas Felipe¹
rojas.unh.epg@gmail.com

Víctor Guillermo Sánchez Araujo¹
victor.sanchez@unh.edu.pe

Lizangela Aurelia Hinojosa Yzarra²
lizangelaorcid@gmail.com

Fredy Rivera Trucios¹
fredy.rivera@unh.edu.pe

Jorge Washington Rodríguez Deza¹
jorge.rodriguez@unh.edu.pe

¹Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú

²Universidad Nacional Autónoma de Huanta. Ayacucho, Perú

Artículo recibido el 16 de noviembre 2022 / Arbitrado el 18 de diciembre 2022 / Publicado el 9 de enero 2023

RESUMEN

La contaminación del agua por presencia de metales pesados como el plomo, es un problema mundial que ha desequilibrado el sistema de salud en la humanidad, toda vez que este metal afecta la pureza del agua bebibible, poniendo en peligro la sobrevivencia de los seres vivos, ya que el plomo afecta los sistemas nervioso, hematológico, cardiovascular y reproductivo; frente a ello, la biosorción, se presenta como un efectivo método alternativo, motivo por el cual el presente estudio tiene el objetivo de dar una visión general y actualizada sobre la capacidad biosortiva del *Nostoc commune* en la eliminación de plomo de aguas contaminadas. Se realizó la revisión y análisis del estado del arte en sus fases heurística y hermenéutica acerca de la capacidad biosortiva del *Nostoc commune*, recopilando artículos científicos y tesis relacionados a la biosorción del plomo utilizando descriptores como "biosorción", "quimiosorción", "*Nostoc commune*" "metales pesados". Se resalta que la capacidad biosortiva está comprendida entre 247,35 y 384,62 mg pb / g de *Nostoc commune*; y el modelo que describe fue Langmuir (R2) comprendido entre 98,8 y 99,25%; siendo el *Nostoc commune* un potencial biosorbente altamente eficiente para separar el plomo de aguas contaminadas, a través de grupos carboxilos e hidroxilos, azúcares reductores, saponinas y aminoácidos, concluyendo que, el *Nostoc commune* tiene alto potencial biosorbente y muy efectivo para contrarrestar la presencia de plomo en el agua.

Palabras clave: Biosorción; Quimiosorción; *Nostoc commune*; Metales pesados

ABSTRACT

The contamination of water by the presence of heavy metals such as lead is a global problem that has unbalanced the health system of mankind, since this metal affects the purity of drinking water, endangering the survival of living beings, since lead affects the nervous, hematological, cardiovascular and reproductive systems; In view of this, biosorption is presented as an effective alternative method, which is why this study aims to provide an updated overview of the biosorptive capacity of *Nostoc commune* in the elimination of lead from contaminated water. A review and analysis of the state of the art in its heuristic and hermeneutic phases was carried out on the biosorptive capacity of *Nostoc commune*, compiling scientific articles and theses related to lead biosorption using descriptors such as "biosorption", "chemosorption", "*Nostoc commune*" and "heavy metals". It is highlighted that the biosorptive capacity is comprised between 247.35 and 384.62 mg pb / g of *Nostoc commune*; and the model describing was Langmuir (R2) comprised between 98.8 and 99.25%; being *Nostoc commune* a highly efficient biosorbent potential to separate lead from contaminated water, through carboxyl and hydroxyl groups, reducing sugars, saponins and amino acids, concluding that, *Nostoc commune* has high biosorbent potential and very effective to counteract the presence of lead in water.

Key words: Biosorption; Chemosorption; *Nostoc commune*; Heavy metals

RESUMO

A contaminação da água pela presença de metais pesados como o chumbo é um problema global que desequilibrou o sistema de saúde da humanidade, já que este metal afeta a pureza da água potável, colocando em risco a sobrevivência dos seres vivos, já que o chumbo afeta os sistemas nervoso, hematológico, cardiovascular e reprodutivo; Em vista disso, a biosorção é apresentada como um método alternativo eficaz, razão pela qual este estudo visa fornecer uma visão atualizada da capacidade biosorptiva da comunidade *Nostoc* na eliminação do chumbo da água contaminada. Foi realizada uma revisão e análise do estado da arte em suas fases heurísticas e hermenêuticas sobre a capacidade bioabsortiva da comunidade *Nostoc*, compilando artigos científicos e teses relacionadas à biosorção de chumbo usando descritores como "biosorção", "quimiosorção", "comunidade *Nostoc*" e "metais pesados". Destaca-se que a capacidade de bioabsorção está entre 247,35 e 384,62 mg pb/g da comuna *Nostoc*; e o modelo descrito foi Langmuir (R2) entre 98,8 e 99,25%; sendo a comunidade *Nostoc* um potencial biosorbente altamente eficiente para separar o chumbo da água contaminada, através de grupos carboxil e hidroxil, reduzindo açúcares, saponinas e aminoácidos, concluindo que, a comunidade *Nostoc* tem um alto potencial biosorbente e muito eficaz para neutralizar a presença de chumbo na água.

Palavras-chave: Biosorção; Quimiosorção; Comuna *Nostoc*; Metais pesados

INTRODUCCIÓN

La alteración de los niveles naturales del agua es un problema mundial que ha generado alerta de muchos sectores del Estado, y siendo de mucha relevancia la contaminación del recurso hídrico, toda vez que es primordial para la vida de todos los seres vivos del planeta (1,2), hoy en día diversas investigaciones científicas están enfocadas en buscar alternativas para mitigar el deterioro del ambiente por parte de los procesos productivos como la minería y otras industrias (3); frente a esta situación, las colonias de *Nostoc commune*, sin previo tratamiento mayor, solo hidratadas, se constituyen en algas biorremediadoras debido a que retienen y absorben cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) del medio donde se encuentran (4).

Las Nostocales *Cylindrospermum muscicola*, *Nostoc commune* y *Calothrix clavata* son capaces de tolerar y crecer en suelos contaminados con Pb (5); es así que, el *Nostoc commune* muy aparte de usarlas en la gastronomía, se las utiliza como secuestrantes de metales en soluciones acuosas ya que tienen la capacidad biosorbente, siendo natural, reemplazable y económico ya que abunda en los humedales altoandinos, y su uso en la aplicación para la remediación del agua puede ser una forma de transformarla en un recurso natural benéfico (6). La técnica de biosorción es un método innovador que usa la

biomasa en estado fresco o seca con el único fin de remover y/o adsorber los metales pesados tóxicos presentes en soluciones acuosas, siendo una tecnología que permite reducir la contaminación del agua a bajo costo y eficiente mediante quimiosorción (2,7).

METODOLOGÍA

El presente *review* trata del análisis de artículos científicos y referencias relacionadas a la biosorción del plomo usando *Nostoc commune*, asimismo, se abarcó las fases heurística y hermenéutica, en donde se supone la captura y recuperación de metales pesados de aguas contaminadas usando tecnología alternativa a bajo costo. El procedimiento de recopilación de información fue a través de los diversos navegadores y buscadores de la red informática, tales como: Google académico, Dialnet, Redalyc, SciELO, PubMed y Sciondirect, en revistas científicas como Revista de Ciencia e Ingeniería, Revista cubana Química, entre otras; así como también en repositorios como las de la Universidad de Guayaquil, Universidad Continental, entre otros, donde se continuó con el análisis documental concerniente al *Nostoc commune*, biosorción y metales pesados, y considerando como fichaje crítico la lectura de todos los resúmenes de artículos científicos y tesis, interpretación de mapas conceptuales y gráficas, extracción y análisis de datos especializados.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Contaminación del agua

Los cambios en las características físicas, químicas o biológicas significan un peligro considerable para la salud, por alta toxicidad y no son biodegradables, que ocasionan enfermedades como desorden cerebral, artritis, daño renal, vasculares, depresión y de la piel; donde se encuentran iones metálicos, producto de actividades industriales y antropogénicas que emplean elementos metálicos que se evacúan a los humedales y manantiales (3,8).

Metales pesados

Según la tabla periódica, son elementos que tienen una densidad mayor a 7 gr/cm^3 , y en este grupo se incluyen al arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), y zinc (Zn); siendo el plomo el más tóxico ya que su uso excesivo viene ocasionando serios problemas a la salud ambiental (8).

Plomo (Pb)

Se encuentra naturalmente en los suelos, cuyas características son: blando, gris, y componente traza de minerales comunes formadores de roca y fácilmente resistentes a la intemperie, y componente principal de varios minerales de carbonato, sulfuro, silicato, óxido y sulfato (9,10), y se encuentra ubicado en el grupo (XIV) de la tabla periódica y posee un

peso atómico de 207,2; y se encuentra entre los 23 metales pesados y el más tóxico para la salud humana y contaminación del ambiente (6,11).

Por otra parte, el Pb puede afectar los órganos más sensibles como el cardiovascular, riñón, sistema reproductivo, sistema hematológico y sistema nervioso; y los más vulnerables al envenenamiento por Pb son los niños, seguidamente por los adultos; y su depósito a largo plazo en el cuerpo humano puede causar enfermedades graves que incluyen pérdida de memoria y dolor de cabeza, y a corto plazo, trastornos gastrointestinales, infecciones fúngicas, fatiga crónica, percepción distorsionada, sensación de irrealidad, confusión mental, dolor en músculos, articulaciones y alergias (7,11). Los límites permisibles (LP) según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), es de 0,015 mg/L; y, asimismo, la OMS ha determinado 0,01 mg/L (3,12).

Nostoc: crecimiento y metabolismo

El Nostoc es una colonia de cianobacterias que puede estar en estado latente hasta que las primeras lluvias la hidratan, formando esferas de 10 a 25 mm de diámetro, semejante a uvas. Se desarrolla entre los 3000 y 5000 m s.n.m., de color verde-azulado, verde-amarillo o marrón oscuro; estas crecen sobre la superficie de la tierra y se puede localizar en los humedales y riachuelos a nivel mundial, distribuidos desde las zonas cálidas hasta las frías, conocida

en Sudamérica con los nombres de cushuro, murmunta, llullucha o llayta en las zonas altoandinas, presentan un tamaño promedio de 1 – 8 a 1 – 1-5 cm (13-15).

Química de la biosorción

Es un proceso físico-químico, consistente en la eliminación de iones metálicos por retención en una biomasa inactiva no viva, y teniendo la constitución bioquímica básica de las algas tiene relación con su rendimiento de adsorción debido la solubilidad, porosidad de la partícula, tamaño, grupos funcionales y la aplicación en contacto a ambos en determinadas condiciones de tiempo, pH, temperatura, agitación y concentración; y se sigue una secuencia que es descrito modelos matemáticos y parámetros (6,7,12).

La separación de los iones metálicos se fundamenta en la adsorción física por biomasa inactiva según la teoría de Vander Waals de la atracción y la adsorción química donde predomina el enlace covalente entre la carga negativa de la superficie de la célula y los iones catiónicos. La constitución bioquímica de las algas tienen relación básica en la biosorción por la presencia de los grupos funcionales como sulfato, hidroxilo, fosfatos, aminas y carboxilos, y cumplen una función muy importante en la unión de metal y el grupo carboxilo con $pK_a=5,0$, siendo importante para la unión con el grupo secundario de ácido sulfónico de fucoidan; la química superficial y la interacción de los metales pesados con grupos funcionales que

se determinan con técnicas espectroscópicas (6,7,16).

Mecanismos de biosorción

Consiste en la transferencia de materia externa desde el centro de la disolución hasta la superficie de la biomasa inactiva, y en esta fase la fuerza impulsora es la diferencia de concentración en el interfaz sólido-líquido que rodea a cada partícula, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas externas, y la difusión se produce por transferencias sucesivas de las moléculas entre centros activos, y la fuerza impulsora que es la gradiente de concentraciones de las especies en su forma adsorbida (17). En el proceso de adsorción física no específica y las fuerzas de atracción entre el adsorbato y la superficie del sólido son parcialmente débiles, y donde su energía de activación es menor que en la adsorción química y el aumento en la T° afecta negativamente la adsorción, así como también la falta de una mezcla adecuada del sistema por ausencia de agitación puede generar zonas muertas en el interior del reactor (2,13).

Por otra parte, para estudiar el mecanismo de biosorción, es muy importante conocer la estructura de la pared celular de la biosorbente y la solución química, los tipos de biomasa de origen agrícola o algal, que muchos de ellos contienen lignina, celulosa, hemicelulosa, proteínas, lípidos, extractos, agua y muchos más compuestos que tienen una variedad de grupos funcionales, y, asimismo, las

algas marinas, plantas, algas y hongos difieren significativamente uno del otro (7,11).

Se ha extraído Pb de aguas contaminadas con distintas concentraciones de Pb: 311,12 mg Pb²⁺/Litro 214,89 mg Pb²⁺/Litro, 127,33 mg Pb²⁺/Litro; y la variación de pH desde 2,4 y 5,5 y dosis del biosorbente (0,1 gr, 0,05 g y 0,025 gr); temperatura de 25°C, movimiento constante de 300 rpm, por 3 horas; y teniendo resultados alentadores 247,35 mg/gr, a un pH de 5,5 (6).

Factores que afectan la biosorción

Potencial de Hidrógeno (pH)

Es un parámetro sobresaliente en la sorción de los metales pesados, y normalmente se acepta que la sorción de cationes metálicos se incrementa al aumentar el pH del medio acuoso, y existe una excepción que solamente aquellos iones metálicos que pueden aparecer como complejos cargados negativamente o formar aniones en solución, pueden mostrar un aumento en la suspensión al incrementar el pH del agua contaminada (13). En todas las alternativas estudiadas la retención de metales tóxicos fue significativa al incrementar el pH, y, por lo tanto, se produce una competitividad entre los cationes y protones por los puntos de retención (15,18). Estudios de biosorción de Cd y Pb usando como adsorbente el *Nostoc sp*, demostraron que la capacidad biosortiva específica máxima de Pb fue de 185,89 mg/g, y a pH 3 la capacidad biosortiva específica de Cd fue de 13,93 mg/g,

lo que equivale a remover el 44,51% de Cd en solución acuosa, existiendo una relación directa y proporcional entre pH y la capacidad biosortiva de Pb, siendo máxima a un pH 5 (37,43 mg/g), lo que equivale a remover el 97,32% de Pb en solución (19).

Temperatura

El aumento de la temperatura del medio acuoso genera incremento en la retención de los metales tóxicos y la biomasa empleados, de esta forma se concluye que el balance energético de las reacciones involucradas en la sorción es positivo evidenciando la naturaleza endotérmica, que depende de la diversificación de entalpía (ΔH), en donde para la mayor parte de los metales pesados, el indicador de entalpía de adsorción se encuentra definido en el rango de 7 y 11 kJ/mol, y entre 2,5 y 6 kJ/mol para metales ligeros, también se ha evidenciado que a una temperatura de 27 °C se ha logrado remoción de 98,95% de metales tóxicos, en tal sentido los factores como cantidad de biomasa, pH y la temperatura es directamente proporcional al porcentaje de remoción (6,13).

Tamaño y dosis del biosorbente

Es el tercer factor importante en el proceso de biosorción de los metales pesados, donde una dosis alta conduce a un aumento en un 98,8% de remoción de metales pesados por otra parte, la dosificación se atribuye a los sitios de interacción con los metales tóxicos y la biomasa, y existiendo una concentración

óptima del adsorbente que conduce a un rendimiento óptimo entre los iones metálicos y los sitios de unión biomasa del *nostoc commune*, y por otro lado, una partícula demasiado pequeña puede incrementar las pérdidas por presión, teniendo en cuenta que el efecto de la pared que es el efecto que ejercen las paredes internas de la columna sobre el flujo de la solución acuosa (9,18).

Discusión

Se obtuvo una alta capacidad de biosorción entre 247,35 y 384,62 mg pb/ g *Nostoc*; y se adecuaron mejor al modelo de Langmuir ($R^2 = 98,8$ y $99,25\%$), corroborando los reportes de Sandoval et al. (20); por otra parte, los métodos convencionales de separación de metales pesados, tales como: adsorción, coagulación, electrodiálisis, intercambio iónico, osmosis inversa y precipitación, son tecnologías que requieren equipos sofisticados y mano de obra altamente calificado, ocasionando altos costos en el proceso; asimismo, son poco eficientes y pueden generar otros productos que requieren de depósito o tratamiento adicional; en tal sentido el elevado costo de tratamiento de metales pesados, han incentivado al desarrollo de nuevas tecnologías que promueven una alta eficiencia de remoción a un menor costo como la biosorción a través de material biológico como el *Nostoc commune*, en concordancia con lo manifestado por Ramírez et al. (4).

La sorción de cationes metálicos se incrementa al aumentar el pH del medio acuoso, en concordancia con Duany (21) quien asevera que “el pH es uno de los factores a tener en cuenta cuando se utiliza residuos vegetales como bioadsorbentes, es decir, a pH bajos, los protones (H⁺) se encuentran en una concentración elevada”, habiendo competencia entre iones metálicos por ocupar los sitios de unión en el biosorbente, lo que conlleva a una reducción de la inmovilización de los metales presentes en disolución. La supresión de iones metálicos por biomasa muerta se centra en la sorción de metales debido a la fuerte afinidad entre iones metálicos y la biomasa coincidiendo con Gupta y Diwan (22) quienes manifiestan que, la estructura bioquímica básica de las algas tiene relación con su rendimiento de adsorción, ya que los grupos funcionales que se encuentran en ellas y en las cianobacterias son los carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amina, que influyen en la unión del metal.

CONCLUSIÓN

La biosorción como tecnología de remoción de metales pesados cubre la necesidad operativa de crear estrategias efectivas, eficientes, económicas y amigables con el ambiente, a fin de minimizar la concentración de Pb en el ambiente, usando biosorbentes microbianos no vivos que, dicho sea de paso, ofrece ciertas ventajas importantes, como ausencia de toxicidad y la no necesidad de suministro de nutrientes.

El *Nostoc commune* es un potencial biosorbente altamente eficiente, económico y ecoamigable, para separar el Pb de aguas contaminadas, toda vez que presentan en su estructura grupos carboxilos e hidroxilos, azúcares reductores, saponinas y aminoácidos, existiendo una relación directa y proporcional entre pH y la capacidad biosortiva de Pb.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pabón S, Benítez R, Sarria R, y Gallo J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Revista de Ciencia e Ingeniería*. 2020; 14 (27): 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
2. Hodelin R, Bessy T, Calzado O, y Pérez R. Adsorción de cromo (VI) y plomo (II) sobre biomasa seca de *Kluyveromyces marxianus* CCEBI. *Revista cubana Química*. 2011; 34 (1): 111-130. <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5211>
3. Burciaga N, Montemayor J, Claudio L, Cano A, y Vega P. Composito en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *Revista especializada en Ciencias Químico Biológicas*. 2020; 23 (1): 1-13. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211>
4. Ramírez S, Medina J, y Villanueva J. Evaluación de la capacidad acumuladora de Cd(II), Pb(II) y Cr(VI) por colonias de *Nostoc commune* "murmunta". *Rev Soc Quím Perú*. 2018; 84(2): 239-246. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/1290>
5. Becerra A, Daga C, Murialdo R, Faggioli V, Menoyo E, y Salazar M. Algas y Cyanobacteria presentes en la rizosfera de plantas acumuladoras de plomo. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 2021; 56: 3-16. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n1.29317>
6. Miranda K, y Parrales G. Evaluación de la capacidad de adsorción en biomasa del alga roja (*Acanthophora spicifera*) para la remoción del ion cobre (Cu²⁺) en soluciones acuosas [Tesis de pregrado]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil; 2021. <https://n9.cl/vq54f7>
7. Breña C. Biosorción de plomo en aguas contaminadas empleando biomasa del *Nostoc Commune* como alternativa ecológica [Tesis de pregrado]. Junín: Universidad Continental; 2020. <https://n9.cl/xo2pa>
8. Corpus A, Alcantara M, Celiz H, Echevarria J, y Paucar L. Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Habitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales. *Revista Agroindustria Sci.* 2021;11 (2): 231-238. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>
9. Lavado C. Biosorción de plomo de aguas contaminadas usando biomasa modificada químicamente del *Nostoc commune* [Tesis doctoral]. Junín: Universidad Nacional Centro del Perú; 2021. <https://n9.cl/x5ced>
10. Murguerza R, y Villalobos E. Evaluación del uso de algas para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales industriales [Tesis de pregrado]. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo; 2021. <https://n9.cl/sjgum>
11. Leiva J. Aplicación de biomasa de microalga deshidratada para biosorción de Plomo en soluciones acuosas a escala laboratorio [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Peruana Unión; 2020. <https://n9.cl/mxb4v>
12. Cedeño C, y Guillen D. Biosorción del cadmio condosespecies de macroalgas (*Padina pavonica*) y (*Acanthophora spicifera*) en el río Arenales Parroquia Crucita [Tesis de pregrado]. Calceta: Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí; 2022. <https://n9.cl/3xxdd>

- 13.** Romano M. Remoción de metales pesados de efluentes líquidos industriales utilizando residuos de biomasa como bioadsorbentes e inmovilización en matrices cerámicas [Tesis doctoral]. Concepción: Universidad Tecnológica Nacional; 2020. <https://n9.cl/58x6t>
- 14.** Ponce E. *Nostoc*: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. IDESIA. 2014; 32 (2): 115-118.
- 15.** Moreno C, y Téllez E. Evaluación del potencial de biosorción de Cromo mediante microalgas nativas aisladas del Rio Tunjuelito en Bogotá D.C, para descontaminación por cromo hexavalente [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Nacional Abierta; 2020. <https://n9.cl/s26vg>
- 16.** Magno J. Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de alga pardas (*Macrocystis pyrifera*) químicamente modificado [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Peruana Unión; 2020. <https://n9.cl/0gfjh>
- 17.** Motta L, y Rodríguez S. Evaluación del potencial del uso de las algas de arribazón conocidas como sargazo (*Sargassum* spp.) [tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad de América; 2020. <https://n9.cl/6c4ya>
- 18.** Caruajulca N. Nivel de conocimiento y uso del *Nostoc commune* “cushuro” por los pobladores del distrito de Namora, Cajamarca, 2020 [tesis de pregrado]. Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo; 2020. <https://n9.cl/6c4ya>
- 19.** Chuquilin R. Estudio de la biosorción de Cd (II) y Pb (II), usando adsorbente *Nostoc commune* V. Revista de la Sociedad Química del Perú. 2016; 8(2): 139-149. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4610>
- 20.** Sandoval F, Cervantes J, y Gracia J. Ecuación de Langmuir en líquidos simples y tensoactivos. Educación química. 2015; 26: 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.03.002>
- 21.** Duany S, Arias T, Bessy T, y Rodríguez D. Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión. Tecnología química. 2022; 42 (1): 94-113. <https://n9.cl/h0it3>
- 22.** Gupta P, y Diwan B. Bacterial Exopolysaccharide mediated heavy metal removal: A Review on biosynthesis, mechanism and remediation strategies. Biotechnology Reports. 2017; 13: 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.12.006>