

“Efficiency of *Phaseolus vulgaris* Pod and *Citrus sinensis* Peel in Arsenic Biosorption from Moche River Water”

Gutiérrez de la Cruz, A., Br.¹, Ibañez Arteaga, Y., Br.², Alva-Díaz, L., MBA.³, Effio-Quezada, W., Mg.⁴

¹Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú, anniegutierrez02@gmail.com

²Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, alenay.2701@gmail.com

³Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. enrique.alva@upn.pe

⁴Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. wilberto.effio@upn.edu.pe

Abstract— This research determined the efficiency of the pod of Phaseolus vulgaris and the shell of Citrus sinensis in the biosorption of arsenic from the water of the Moche river, using volumetric, gravimetric and spectrophotometric methods. For this, 400 ml of water from the Moche River was used, at an initial concentration (Ci) of 7,058 mg/L of As, with 5, 7 and 10 g of each biosorbent, using the jar test equipment at a speed of agitation of 80 and 100 rpm, for a contact time of 120 and 180 min. Obtaining the highest percentage of biosorption for the pod of Phaseolus Vulgaris is 85% with a final concentration (Cf) of As of 1.058 mg/L, and the highest percentage for the shell of Citrus sinensis is 88.96% with a final concentration (Cf) of As of 0.779 mg/L, both with optimal conditions of 120 min, 80 rpm and 5g. Concluding that the shell of Citrus sinensis is the most efficient in the biosorption of arsenic with 88.96%, likewise, the pod of Phaseolus vulgaris is efficient by 85%, evidencing that both biomasses have efficiency to biosorb more than 50% of arsenic from the Moche river water.

Keywords— Arsenic biosorption, Citrus sinensis peel, Phaseolus vulgaris sheath, contact time, agitation speed.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.633>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

“Eficiencia de Vaina de *Phaseolus vulgaris* y Cáscara de *Citrus sinensis* en la Biosorción de Arsénico del Agua del Río Moche”

Gutiérrez de la Cruz, A., Br.¹, Ibañez Arteaga, Y., Br.², Alva-Díaz, L., MSc.³, Effio-Quezada, W., MSc.⁴

¹Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú, alenay.2701@gmail.com

²Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, anniegutierrez02@gmail.com

³Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. enrique.alva@upn.pe

⁴Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. wilberto.effio@upn.edu.pe

Resumen— Esta investigación determinó la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del río Moche, usando los métodos volumétricos, gravimétricos y de espectrofotometría. Para ello, se utilizó 400 ml de agua del Río Moche, a una concentración inicial (Ci) de 7.058 mg/L de As, con 5, 7 y 10 g de cada biosorbente, usando el equipo de test de jarras a una velocidad de agitación de 80 y 100 rpm, por un tiempo de contacto de 120 y 180 min. Obteniendo el porcentaje de biosorción más alta para la vaina de *Phaseolus vulgaris* es del 85% con una concentración final (Cf) de As de 1.058 mg/L, y, el porcentaje más alto para la cáscara de *Citrus sinensis* es del 88.96% con una concentración final (Cf) de As de 0.779 mg/L, ambas con condiciones óptimas de 120 min, 80 rpm y 5g. Concluyendo que la cáscara de *Citrus sinensis* es la más eficiente en la biosorción de arsénico con 88.96%, asimismo, la vaina de *Phaseolus vulgaris* es eficiente en un 85%, evidenciándose, que ambas biomasa tienen eficiencia por biosorber más del 50% de arsénico del agua del río Moche.

Keywords— Biosorción de arsénico, cáscara de *Citrus sinensis*, vaina de *Phaseolus vulgaris*, tiempo de contacto, velocidad de agitación.

I. INTRODUCCION

En los últimos años, la contaminación ambiental se ha vuelto uno de los temas en debate para el desarrollo de la vida, por lo que, a través del ingenio y la ambición del ser humano se ha logrado el desarrollo de actividades industriales, mineras, agrícolas, que buscan la mejora económica en los países, sin embargo, han logrado degradar la mayor parte de los recursos naturales, siendo uno de ellos, el agua; por ende la tasa de contaminación se estima en 2000 millones de metros cúbicos diarios [1]. Una de las actividades más usuales, por las que el agua se encuentra contaminada son la minería y la agricultura, ambas generan metales pesados, estos, son altamente perjudiciales para todo ser vivo.

Tal es el caso, que en Bangladesh más de 30 millones de personas se encuentran amenazadas de ser contaminadas por altos contenidos de arsénico en agua, esto se origina por el contenido de dicho metal en las rocas de la cuenca del río

Brahmaputra, que bombea agua a la superficie para ser utilizada por la población [2]. En Sudamérica, Argentina en sus ríos Reconquista y Riachuelo presentan metales pesados, debido a que más 12 mil industrias utilizan a estos como depósitos de basura [3]. De la misma manera, Brasil se encuentra contaminado por el mismo metal, en suelos y aguas subterráneas; debido a la actividad minera en lugares como Ouro Preto, Santa Bárbara y Nova Lima en Minas Gerais [4].

En el Perú, en la región La Libertad se encuentra la cuenca del Río Moche, comprendida por las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán; con una extensión de 2708 km² [5]; la actividad minera en los últimos 10 años se ha incrementado y como consecuencia ha traído consigo relaves mineros que son vertidos a los ríos y lagunas, en los que está contaminados con mercurio, cadmio, plomo, cobre y arsénico [6]. Es así como, en esta Cuenca son 63 puntos de fuentes contaminantes, en el que se identificó un vertimiento de aguas residuales proveniente de actividades mineras de la Planta de concentración de minerales- Virgen de la Puerta en Motil, y la de un pasivo ambiental minero en el Centro Poblado de Samne, afectando la calidad de terrenos agrícolas de la zona y del recurso hídrico [7]. De la misma forma, la minera Quiruvilca fue la principal empresa dedicada a actividades mineras, sin embargo, a finales del año 2017 cerró todas sus operaciones, ante estas circunstancias, Shorey atraviesa problemas de contaminación, debido a la presencia de aguas ácidas y caída de relaves mineros [8].

Ante esta situación, es necesario contrarrestar las concentraciones de arsénico en el agua del Río Moche, a través de la incorporación de métodos ecológicos, como lo es la biosorción, que refiere a modos de captación de metal no activo por biomasa (microbiana); los cationes metálicos son atraídos a sitios cargados negativamente en la superficie de la célula. Un número de ligandos aniónicos participan en la unión del metal: grupos de fosforilo, carboxilo, sulfhidrilo e hidroxilo de proteínas de membrana [9]

El propósito de la presente investigación es determinar la eficiencia entre la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico de agua del Río Moche, evaluando el tiempo de contacto y la velocidad de agitación, para ello se tiene una validez y confiabilidad del

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.633>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

estudio, debido que, cada uno de los procesos llevados a cabo se realizó con todos los protocolos pertinentes y basados en diferentes investigaciones y metodologías de experimentación, que permitieron relacionar las variables a trabajar y de esta manera posibilitará encausar posteriores investigaciones relacionadas con la contaminación de agua por arsénico.

Esta investigación se realiza al existir la preocupación del desarrollo de las comunidades que se encuentran a lo largo de la cuenca, en todos sus aspectos, económico, social y ambiental, en el hecho de que las generaciones futuras no puedan gozar plenamente de una buena salud y un ambiente limpio, así como de la necesidad de reducir la contaminación de agua por arsénico del río Moche, ya que está considerada como una de las zonas más contaminadas, utilizando una tecnología eco-amigable, en el que el uso biomasa ayudan en la sorción de metales pesados, disminuyendo sus efectos y mejorando la situación actual que vive toda la población de la cuenca del Río Moche.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Preparación de los Biosorbentes

Se recolectó 3 kilos de vaina de frijol y cáscara de naranja, cada tratamiento se realizó por separado. Cada biomasa se lavó con agua destilada para cortarlas hasta un tamaño de 0.5 a 1 cm. y de esta manera se insertó a la estufa por 24 horas a 60 ° para facilitar la trituración mediante un molino de mano. Al transformar las biomasa en polvo se pasó por las mallas estándares ASTM (N°40) y finalmente se colocaron las biomasa en bolsas herméticas respectivamente conservándose a una temperatura ambiente [10]

B. Ensayos Experimentales

Para los ensayos de biosorción, se agregó 400 ml de muestra de agua a cada vaso de precipitación [11] y se le agregó 5, 7 y 10 gr de biosorbente respectivamente. Dichas muestras fueron llevadas a la prueba de test de jarras con 120 min y 180 min a una revolución de 80 y 100 rpm, asimismo, el pH y la temperatura no se manipularon. Posteriormente estas soluciones reposaron 30min para generar la sedimentación de la fase sólida.

C. Método Espectrofotómetro

En el análisis de concentración final de arsénico, se procedió a usar el método por generador de hidruros, en un sistema que genera un flujo continuo de vapor usando una curva de calibración para la lectura de Arsénico en la muestra de agua del río Moche.

Modo de Calibración

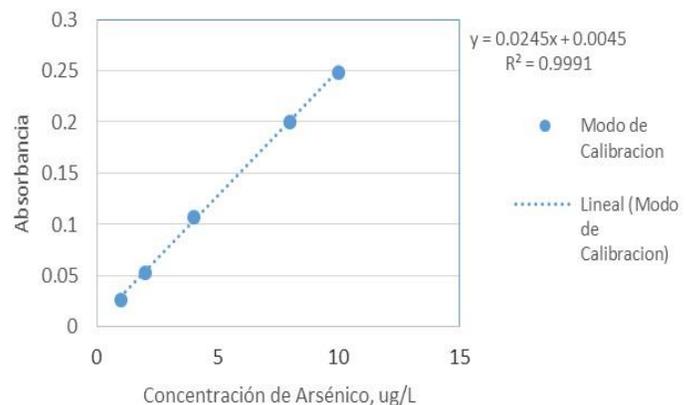


Fig. 1 Curva de calibración para la lectura de Arsénico en la muestra de agua del río Moche – Elaboración

D. Evaluación de la Eficiencia de Biosorción

Mediante la ecuación de porcentaje de remoción hidráulica se evalúa la eficiencia de remoción de la carga orgánica.

$$\% R = ((C_i - C_f) / C_i) * 100 \quad (1)$$

Dónde: C_i es la concentración inicial, C_f es la concentración final de As en mg/L.

E. Diseño de investigación

Se usó el diseño factorial con cuatro factores [7], se evaluó tres factores cuantitativos como la masa de biosorbente con 3 niveles, tiempo de contacto con 2 niveles y la velocidad de agitación con 2 niveles, siendo $a * b * c: 3 * 2 * 2 = 12$ grupos experimentales por cada biomasa, con una repetición por cada tipo de biomasa y un factor cualitativo con 2 niveles, habiendo un total de 24 pruebas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo, se halló una concentración de 7.058 mg/l de arsénico en las aguas del río Moche (Fig. 2), que al comparar con los estándares de calidad de agua (ECA) en Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, y subcategoría E2: ríos; da como valor límite a la concentración de arsénico a 0.15 mg/l [11], comprobando la existencia de contaminación de dicha cuenca. Por consiguiente, ante la problemática de la contaminación de arsénico, se plantea el proceso de biosorción, el cual se da de una manera sencilla y eficaz, identificando que biomasa (vainas de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*) tiene mayor eficiencia en remover la concentración de arsénico en agua del río Moche.

Como resultado del proceso de biosorción, se tiene que la vaina de *Phaseolus vulgaris* es del 85%, y, para la cáscara de *Citrus sinensis* es del 88.96% (Tabla 1).

Tabla 1. Determinación del porcentaje de biosorción de arsénico del agua del río Moche en el proceso de Biosorción con la vaina de *Citrus sinensis* y vaina de *Phaseolus vulgaris*

Masa (gr)	Tipo de biosorbente	Tiempo de biosorción (min)	80 (rpm)	100 (rpm)
			Porcentaje de biosorción	Porcentaje de biosorción
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	85.00	75.24
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	78.78	67.88
5	<i>Citrus sinensis</i>	120	88.96	85.20
5	<i>Citrus sinensis</i>	180	86.34	83.33
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	80.18	63.11
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	76.94	59.79
7	<i>Citrus sinensis</i>	120	85.50	79.54
7	<i>Citrus sinensis</i>	180	81.77	76.00
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	68.80	54.80
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	70.73	54.08
10	<i>Citrus sinensis</i>	120	82.30	70.50
10	<i>Citrus sinensis</i>	180	82.05	68.05
Concentración inicial de arsénico			7.058mg/l	

De tal manera, la cáscara de naranja demuestra que en la biosorción de arsénico tiene mejores resultados de remoción (Fig. 2), esto se debe al contenido que presenta, en la pared celular de este material que contiene una cadena de grupos funcionales, ácidos débiles, principalmente grupos carboxílicos. Esto implica que el tipo y estado iónico de los grupos funcionales de la pared celular determinan la magnitud de adsorción [12]. Además, en la caracterización de la cáscara de naranja, se encontraron 42.04 % de carbono, 5.44% de hidrógeno, 0.70% de nitrógeno, 10.98% de pectina, 6.51% de lignina, 13.08 de celulosa y 6.77 de hemicelulosa [13]. De la misma manera, la vaina de frijol tiene la capacidad de biosorber concentraciones de arsénico; debido al contenido en la vaina, que, en la determinación de sitios ácidos y básicos, se encontró que el material tiene características ácidas, se puede decir, que la superficie de la vaina de frijol, presenta grupos carboxilo, anhídridos de ácidos carboxílicos, lactonas, lactoles y grupos hidroxilo de carácter fenólico [14]. El contenido en ambas cáscaras ayuda a biosorción, puesto que, los grupos de fosforilo, carboxilo, sulfhidrilo e hidroxilo de proteínas de membrana participan en la unión del metal [9].

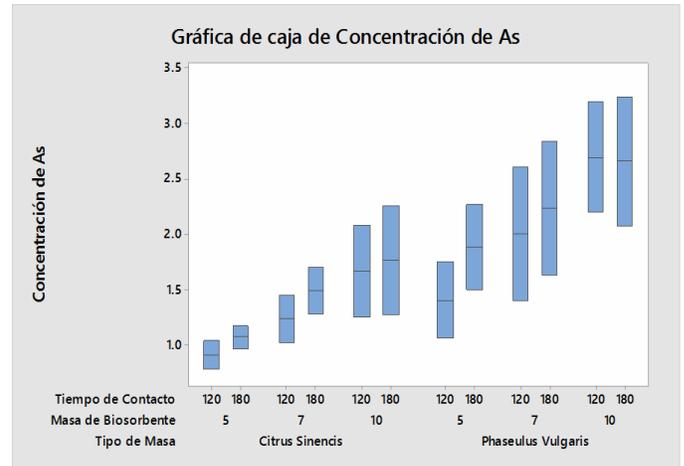


Fig. 2 Determinación de la influencia del tipo de Biosorbente en el proceso de biosorción.

El tiempo de contacto que brindó mejores resultados fue el de 120 min (Fig. 3), contradiciendo a lo que se sustenta que la capacidad de biosorción y la eficiencia de eliminación de los iones metálicos aumentaron al prolongar el tiempo de contacto hasta alcanzar un estado de equilibrio, lo que es consecuencia de la saturación de biomasa [15], por ende, en el tiempo que muestra mejores resultados se debe a que alcanzó su punto de equilibrio. De la misma manera, la velocidad de agitación que más influyó fue la menor, de 80 rpm (Fig. 4), sosteniendo que en la mayoría de las investigaciones trabajan con una velocidad de 200 rpm.

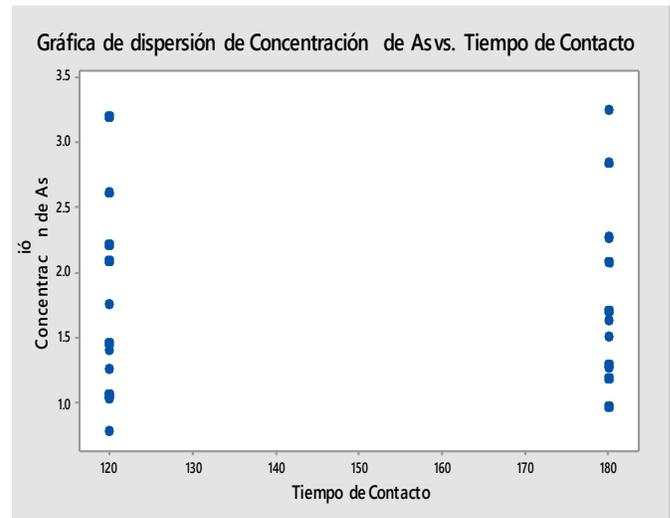


Fig. 3 Influencia del tiempo de Contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en el proceso de biosorción.

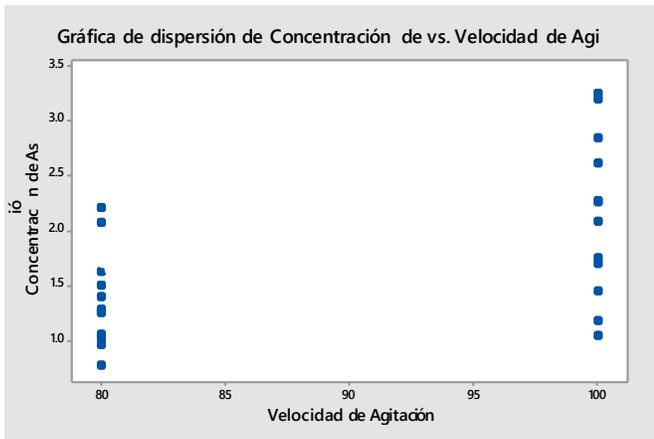


Fig. 4 Influencia de la velocidad de Agitación de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis*.

Así se demuestra que la cáscara de naranja *Citrus sinensis* y la vaina de *Phaseolus vulgaris* presentan altos porcentajes de remoción, en los que se utilizó los indicadores, cantidad de masa (5, 7 y 10 gr), el tiempo de contacto (120 y 180 min) y la velocidad de agitación (80 y 100 rpm), que interactuándolos influyen en el proceso de biosorción de arsénico de las aguas del Río Moche (Fig. 5). Ante lo expuesto, ambas biomásas, cáscara de naranja y vaina de frijol, obtuvieron mejores resultados de biosorción con la masa de 5 g, dado el caso en una de las investigaciones en las que se utilizaron 5, 3 y 1g de cebada, demostraron que el tamaño de la partícula es indirectamente proporcional al porcentaje de biosorción ya que se obtuvo con la partícula de menor tamaño una mayor absorción [16], esto se debe, que al disminuir el tamaño de partículas, el número de centros activos por unidad se incrementa [13]

Es así, que también se debe considerar el pH y temperatura de las muestras a trabajar, puesto que, indica que estos factores influyen en el proceso de biosorción [15], en este caso se trabajó a pH y temperatura ambiente, 2.14 y 13°C, facilitando el proceso de biosorción de las biomásas; sin embargo, el comportamiento del pH óptimo para la biosorción de metales pesados oscila entre 3.5-8.0 [17]; de la misma manera, se sostiene que la temperatura influye limitadamente en la biosorción, debido a que, la capacidad de biosorción aumenta con una disminución de la temperatura [15].

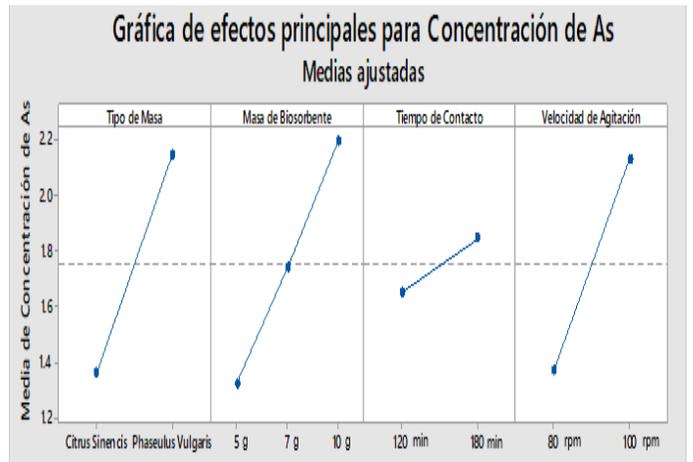


Fig. 5 Gráfica factorial de los efectos principales en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente

En consecuencia, se comprobó que la velocidad de agitación, el tiempo de contacto y la masa de los biosorbentes influyen de manera inversamente proporcional en el proceso de biosorción de arsénico en medio acuoso, es decir, a menor cantidad de masa, menor tiempo y menor velocidad de agitación se obtiene una mayor biosorción del mencionado contaminante (Fig. 5), logrando ser eficiente el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, puesto que, el porcentaje de remoción evalúa a la eficiencia de este proceso [18], siendo para la presente investigación la vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) la de menor eficiencia con 85% y la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) con mayor eficiencia, 88.96%, denotando que no existe un gran diferencia entre estas, es por ello que, para aumentar la eficiencia es necesario reducir la contaminación causada en los recursos naturales [19]. Por consiguiente, la presente investigación ha demostrado disminuir los niveles de concentración de arsénico en el agua del río Moche, demostrando una buena eficiencia de ambas cáscaras para remover dicho metal peligroso.

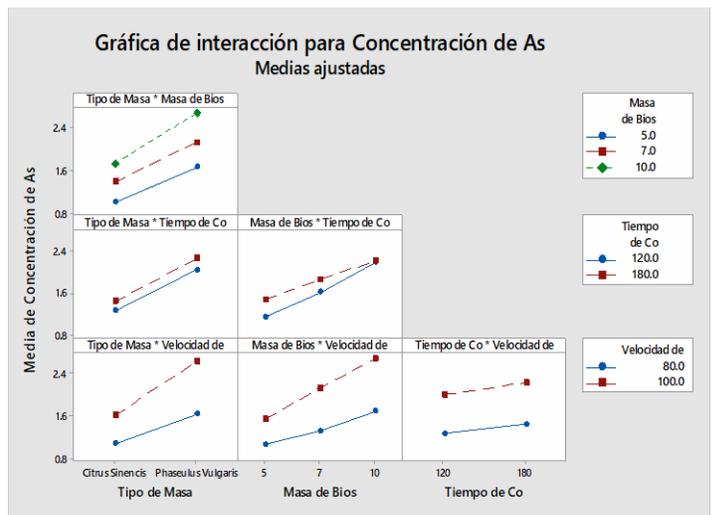


Fig. 6 Gráfica factorial de la interacción entre los factores en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente

IV. CONCLUSIONES

Al mismo tiempo, la interacción de los indicadores con la concentración de As., se expresa que tiene una mayor interacción el tipo de biosorbente con la masa del biosorbente, tiempo de contacto y velocidad de agitación; y la masa de biosorbente con tiempo de contacto y con la velocidad de agitación, sin embargo, el tiempo de contacto con la velocidad de agitación, no tienen una influencia muy significativa en la concentración final de As (Fig. 6)

En consecuencia, se determina que el tiempo de contacto, la velocidad de agitación, tipo de biosorbente y la masa influyen en la biosorción de arsénico, como lo comprueba el Diagrama de Pareto (Fig. 7), puesto que los valores están por encima del valor de 2.01, siendo 120 min, a 80 rpm y 5 gr los que ayudan a tener una mayor biosorción de arsénico con la cáscara de *Citrus sinensis*, y 180 min, a 100 rpm y 10 gr a tener una menor biosorción de arsénico con la vaina de *Phaseolus vulgaris*.

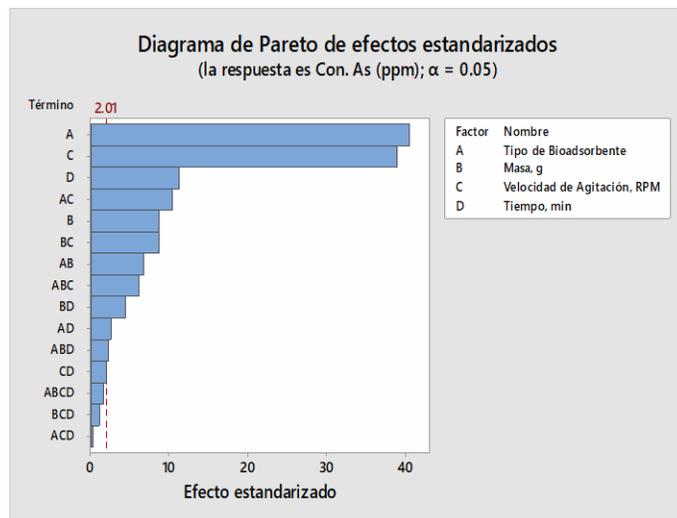


Fig. 7 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, para determinar la significancia de cada factor.

Por lo tanto, las diversas actividades generadas por el hombre tienen un impacto en el ambiente; en la minería, los procesos que se ejecutan repercuten negativamente en los recursos naturales, como el agua, que se ve afectada por ser depósito de desechos minerales. El río Moche, abastece de diferentes formas a muchas comunidades, y en su efluente lleva grandes cantidades de contaminantes, como el arsénico, que perjudica a todo ser vivo; ante esta problemática, es necesario encontrar soluciones viables y eficientes que permitan hacer frente a la contaminación de aguas. A través, de esta investigación se determina que la cáscara de *Citrus sinensis* presenta mejores resultados para biosorber las concentraciones de arsénico, y hacer que a largo plazo estas comunidades se desarrollen sosteniblemente y que las generaciones futuras puedan disfrutar de buena salud y un ambiente equilibrado.

Se determinó que la vaina *Phaseolus vulgaris* tiene una eficiencia de biosorción de arsénico de 85% y la cáscara de *Citrus sinensis* de 88.96%, es decir, que ambas biomásas, tienen una calificación buena en la remoción de arsénico del agua del Río Moche, y al comparar la eficiencia la que tiene mejor resultado es la cáscara de *Citrus sinensis*.

Se determinó que la concentración de Arsénico en el agua del río Moche, a la altura de Shorey, es de 7.058; superando lo establecido en los estándares de calidad ambiental.

Se determinó que el tiempo de contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* sí influye en el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, como lo demuestra el Diagrama de Pareto, al tener un valor de significancia de 11.4; esto demuestra que el tiempo de 120 min influye para tener una concentración menor de As.

Se determinó que la velocidad de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* sí influye en el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, debido a que, en el Diagrama de Pareto tiene un valor de significancia de 38.7; esto demuestra que la velocidad de agitación de 80 rpm influye para tener una menor concentración de As.

Finalmente se determinó que el porcentaje de biosorción de la vaina de *Phaseolus vulgaris* es del 85% y una concentración final de As de 1.058 mg/L, empero, el porcentaje más alto es de la cáscara de *Citrus sinensis* con un 88.96% con una concentración final de As de 0.779 mg/L, ambas a condiciones de 120min, 5gr y 80rpm.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece particularmente a la Universidad Privada del Norte Sede Trujillo, por brindar las instalaciones y laboratorio para el desarrollo de la presente investigación

REFERENCIAS

- [1] Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016, 2 de julio). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 2 (2), 66-77. http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (2006) Amenaza de arsénico en Bangladesh. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0605sp1.htm>
- [3] Federovisky (10 de mayo de 2019) El Río Reconquista, el segundo cauce más contaminado de la Argentina. Infobae. Recuperado de: <https://www.infobae.com/tendencias/ecologia-y-medio-ambiente/2019/03/10/el-rio-reconquista-el-segundo-cauce-mas-contaminado-de-la-argentina/>
- [4] Galetovic, a. & de Femicola, N. (2003) Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacéuticas*, 39 (4), 365-372. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-93322003000400003>

- [5] Municipalidad Provincial de Otuzco (2009). El Río Moche. Municipalidad Provincial de Trujillo, 1, p.5
- [6] Gonzales, R. (2012). Los derechos humanos y el riesgo que causa el agua contaminada del río Moche en Trujillo. *Revista Digital*, 181-197. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/200>
- [7] Autoridad Nacional del Agua. (2015, 4 de septiembre). Actualización de identificación de fuentes contaminantes en la cuenca del Río Moche. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-actualizacion-identificacion-fuentes-contaminantes-cuenca-rio>
- [8] Servicio de Agua Potable y alcantarillado de la Libertad Sociedad Anonima (2018) Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A. <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>
- [9] Volesky, B. (1990). Biosorption of heavy metals. Montreal, Canadá: McGill University. *Revista Digital*, 235-250 <http://biosorption.mcgill.ca/publication/PDFs/101-BP95-11,235-50-RevHolan.pdf>
- [10] Choquejahu, Y. (2018) Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasa de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018 [tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de tesis https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1689/Yesica_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y [8] Trelles, C., Herrera, A. & Nuñez, J.) Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasa vegetales inertes [tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio Institucional http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1152/1/trelles_bj.pdf
- [11] Ministerio del Ambiente, Perú (7 de junio, 2017) Decreto Supremo N°004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *Diario El Peruano*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- [12] Cardona, A., Cabañas, D., & Zepeda A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería: Revista Digital* 17 (1), 1-9. <http://www.redalyc.org/html/467/46729718001/>
- [13] Tejada, L. Tejada, C., Marimón, W. y Villabona A. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus Sinensis* y *Musa Paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Luna Azul: Revista Digital*, 39, 124-142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321732142008>
- [14] Franco, J. (2014). Evaluación de la vaina de frijol Cargamanto Rojo como material biosorbente en la remoción de cadmio (Cd²⁺) presente en soluciones acuosas [tesis de licenciatura, Universidad Libre de Colombia]. <http://hdl.handle.net/10901/11223>
- [15] Sharma, S. (2015) Heavy Metals in Water. Japiur, India: Royal Society of Chemistry.
- [16] Ramón, F. (2017) Capacidad del residuo de la cebada "*Hordeum vulgare*" para la absorción de cromo (Cr+6) en aguas contaminadas a nivel del laboratorio 2017 [tesis de grado, Universidad César Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10356/Ramon_JF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] Ordoñez, A. (2015). Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) molida, Machala (tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf>
- [18] Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., y Ortiz, L., (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de Humedales Artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 25 (3), 157-167. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004
- [19] Jacobs, M. (1996) Economía verde; Medio ambiente, desarrollo sostenible y la política del futuro. Barcelona, España: ICARIA.