

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Remoción de arsénico con biomásas orgánicas. Una revisión

Por:

José Antonio Capacoila Calcina

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, agosto 2020

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON BIOMASAS ORGÁNICAS. UNA REVISIÓN” constituye la memoria que presenta el estudiante José Antonio Capacoila Calcina para aspirar al grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 14 días del mes de setiembre del año 2020



A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. The signature is stylized and appears to read 'E. Vigo'.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 07 día(s) del mes de agosto del año 2020, siendo las 12:30 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del

presidente(a) Msc. Rosa Celdelene Gallata Ghura

secretario(a) Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros

Msc. Hernán Romulo Aspaga Porto

y el(la) asesor(a) Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado Remoción de asínico con biomásas

orgánicas. Una revisión

de los (las) egresados (as): a) José Antonio Espacoila Lalcina

b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): José Antonio Espacoila Lalcina

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Remoción de arsénico con biomásas orgánicas. Una revision

Arsenic removal with organic biomass. A review

Capacoila Calcina José Antonio^{1a}

^aEP Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen:

El objetivo de este artículo es presentar una revisión de estudios sobre la remoción de arsénico en aguas de consumo humano empleando biomásas orgánicas comúnmente usadas. Los estudios revisados demuestran que los métodos convencionales para la remoción del As en aguas son muy costosos y requieren de grandes espacios de operación. Por ende, se necesita de nuevos métodos como la biosorción para remover el As debido a que es de bajo costo y fácil operación, además, según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N°031-2010-SA y la organización mundial de la salud establecen como límite máximo permisible la concentración de 0.01 mg/L del As en aguas de consumo. Además, se identifica a la temperatura, pH, dosis y tamaño de la partícula de biosorbente, y concentración inicial de contaminante como los factores más relevantes en el proceso de biosorción. Se concluye que la biosorción es una alternativa efectiva para la remoción de arsénico con biomásas orgánicas.

Palabras clave: Biosorción, biomásas, contaminación de agua, arsénico.

Abstract

The objective of this article is to show a review of studies on the removal of arsenic in water for human consumption using commonly used organic biomass. The studies reviewed show that conventional methods for the removal of arsenic in waters are very expensive and require large operating spaces. Therefore, new methods are needed such as biosorption to remove arsenic because it is low cost and easy to operate, in addition, according to the regulation of the quality of water for human consumption DS N ° 031-2010-SA and the organization health world establish as a maximum permissible limit the concentration of 0.01 mg / L of arsenic in drinking water. In addition, the temperature, pH, dose and size of the biosorbent particle, and the initial concentration of contaminant are identified as the most relevant factors in the biosorption process. It is concluded that biosorption is an effective alternative for the removal of arsenic with organic biomass.

Key words: Biosorption, biomass, water pollution, arsenic.

¹Autor de correspondencia: Capacoila Calcina José Antonio
Km. 6 Carretera Arequipa. Villa Chullunquiani.
Teléfono 951104686
E-mail: jose.capacoila@upeu.edu.pe

1. Introducción

En la actualidad, la contaminación es uno de los problemas más preocupantes en nuestra sociedad, generando un riesgo para el bienestar de ecosistemas acuáticos y terrestres, que viene afectando directamente a la salud de las personas, por medio del agua, aire y suelo (Trelles, 2013). La contaminación de los recursos hídricos por medio de los metales pesados, se considera un tema de importancia en la actualidad, debido a la contaminación que se está presentando en aguas de consumo humano viene afectando a la salud de las personas, uno de estos metales es el arsénico, que se le considera uno de los metales más tóxicos y cancerígenos (Tejada et al., 2015).

La contaminación del agua por arsénico es un problema de salud pública a nivel global que está afectando a 140 millones de personas en todo el mundo (Trelles, 2013). En el Perú, se estima que el número de persona afectadas o expuestas superan los 300mil, alrededor del 10% de la población nacional de nuestro país, aun cuando los casos de contaminación reportados se dan en varias regiones del país, los más relevantes se presentan en los departamentos del sur del país (Calcina, 2017).

El impacto generado por la contaminación del agua por arsénico ha llevado a la comunidad a desarrollar diferentes métodos para el tratamiento de los efluentes contaminados, entre los cuales están: la precipitación, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana, entre otros. Sin embargo, estos métodos son demasiados costosos y vendrían a ser ineficientes debido a que la concentración de los metales es muy baja, además esto conllevaría a la formación de lodos y desechos originados durante los procesos, lo cual conlleva a otro problema mayor a resolver (Sala et al., 2010).

La biosorción surge como una alternativa para el tratamiento de efluentes contaminados por arsénico, ya que, es una tecnología que permite la eliminación de metales pesados (As) por la unión pasiva a biomasa no viva a partir de soluciones acuosas (Murugesan et al., 2006).

Las ventajas de la biosorción en comparación con las técnicas convencionales se tienen: bajo costo de operación, alta eficiencia en la remoción de metales pesados, minimización de productos químicos y lodos generados, además no se requieren nutrientes adicionales. Sin embargo, esta tecnología solo aplica para concentraciones bajas ya que para las concentraciones a nivel industrial a un no se ha realizado por el motivo de las biomásas debido a que se necesitaría en grandes cantidades (Nilanjana, 2010; Xinqing et al., 2011).

Investigaciones recientes sobre la biosorción de iones de metales pesados en aguas para consumo humano, realizadas a nivel nacional y regional, revelan la capacidad de absorción de diferentes biomásas como la cascara de tamarindo, cascara de plátano, cascara de limón, cascara de naranja, vainas de frijol, cascarilla de arroz, granos de cebada, semilla de cacao, entre otros (Bournod et al., 2010; Santos et al., 2017; Tejada et al., 2015; Trelles, 2013).

La organización mundial de la salud (OMS) y el reglamento de calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA, establecieron que la máxima concentración del arsénico en agua para consumo debe estar en un rango de 0.01 – 1 ppm, sin embargo, en la actualidad se reportan concentraciones elevadas que superan el rango establecido por la OMS en efluentes rurales de tal manera esto conlleva un problema a la salud de la persona que la consume (Pinzo & Cardona, 2010).

La presente investigación tuvo como objetivo hacer una revisión de los diferentes estudios que se han realizado de tipos de biomásas orgánicas utilizados para remover el arsénico presente en aguas de consumo humano.

2. Desarrollo o Revisión

2.1. Arsénico

El arsénico (As) es un elemento particularmente difícil de caracterizar en forma aislada, debido a que su química es muy compleja y a su vez existen diferentes compuestos del mismo que puede ser trivalente As (III) o pentavalente As (V) y están ampliamente distribuidos en la naturaleza (Agreda et al., 2005).

El arsénico presente en aguas para consumo humano se ha vuelto una problemática conocida en distintos lugares del mundo, debido a que este es un elemento natural que está presente en la corteza terrestre y puede aparecer en el agua a través de procesos tales como: la meteorización química o por disoluciones de minerales, y también puede estar presente por actividades por la mano del hombre como la minería uso de plaguicidas, entre otros (Franco & Carro, 2014).

2.1.1. Generalidades del arsénico

El arsénico está formado en cuatro estados de oxidación, -3, 0, +3 y +5. La gran parte de estos compuestos arsenicales en organismos, y en alimentos están en un estado de oxidación pentavalente (Galetovic & Fernicola, 2003).

Los compuestos arsenicales que se encuentran en estado de oxidación trivalente y pentavalente son los de mayor interés en estudios ambientales y estos se pueden clasificar en tres grupos, compuestos arsenicales inorgánicos, orgánicos y la arsina (Galetovic & Fernicola, 2003).

2.1.2. Arsénico presente en el agua

Los acuíferos y pozos destinados para el consumo humano se han encontrado con altas concentraciones de As que sobrepasan los 0.01 mg/l límites establecidos por la OMS y el reglamento de calidad de agua D.S. N° 031-2010 (Ravenscroft & Brammer, 2009).

Escarcena (2018) en su trabajo de investigación “Remoción del arsénico de las aguas municipales y pozos domésticos en la ciudad de Juliaca por precipitación alcalina” encontró concentraciones elevadas de hasta 0.053 y 0.058 mg/L en aguas municipales y aguas de pozos respectivamente; también, Tintaya (2019) encontró concentraciones de arsénico de 0.057 y 0.059 mg/L en aguas municipales domésticas y pozos respectivamente en la ciudad de Huancané.

2.1.3. Arsénico presente en el aire

La concentración de arsénico presente en el aire varía entre 1 y 10 ng/m³ en áreas rurales y en áreas urbanas están alcanzando valores alrededor de los 20 ng/m³, en áreas cercanas a plantas que queman carbón puede encontrarse concentraciones de hasta 1 µg/m³ y la concentración de arsénico en rocas y suelos contaminados son menores a 20mg/kg de suelo (Buchet & Lison, 2000).

2.1.4. Arsénico presente en los alimentos

El arsénico en los alimentos está presente en dos formas, inorgánicas y orgánicas, los tipos de arsénico orgánico como el ácido monometilarsónico, el ácido dimetilarsónico, la arsenobetaina, los arsenolipidos y los arsenozucares están naturalmente presentes en los alimentos con concentraciones que son esencialmente inofensivas que no llegan a causar daño a nuestro organismo. Sin embargo, el arsénico inorgánico por lo

contrario, también es inofensivo a concentraciones muy bajas, pero es peligroso cuando está presente en niveles elevados y en exposiciones a largo plazo (Saulo, 2012).

TABLA 1

PRINCIPALES COMPUESTOS ARSENICALES RELACIONADOS CON ALIMENTOS

Compuesto arsenical	Se encuentra en
Arsenito (As^{+3}) y Arsenato (As^{+5})	Algas marinas Vegetales Agua potable Arroz, trigo, leche, carne y productos a base de estos
Ácido monometilarsenoso (MMA^{+3})	Setas comestibles
Ácido dimetilarsónico (DMA^{+3})	Podría encontrarse en diversos organismos por es un metabolismo inestable
Ácido monometilarsónico (MMA^{+5}) Ácido dimetilarsínico (DMA^{+5})	Arroz Setas comestibles Carne de animales
Arsenobetaina	Musculo de animales de origen marino
Arsenolipidos	Pescados grasos y sus aceites
arsenoazucares	Pescados Algas marinas

Fuente: adaptado de Medina et al., (2018)

2.1.5. Efectos del arsénico en la salud de las personas

El arsénico en concentraciones altas es un compuesto toxico para las personas, sus efectos en la salud dependen de las cantidades que la persona ha estado expuesta, la exposición al arsénico puede producir diferentes enfermedades tales como: intoxicaciones agudas o crónica ocupacional como también arsenicosis, cáncer, daños a los pulmones, riñones, entre otros (Galetovic & Fernicola, 2003). Una persona puede estar expuesta al arsénico por tres factores, ingestión, inhalación o a través de la piel, la ruta de exposición más expuesta es a través de la ingesta de alimentos contaminados y el consumo de aguas contaminadas (Rios, 2014).

Los efectos agudos más notorios de la intoxicación agua por arsénico inorgánico son: daño severo gastrointestinal, vómitos, diarrea, vasodilatación, caída de la presión sanguínea, daño renal glomerular y

tubular con reducción de volumen urinario, hipotermia, anormalidades cardíacas y entre otros (Bournod et al., 2010).

Según el reglamento sanitario de los alimentos, decreto supremo N° 977/96 de Chile establece los siguientes límites máximos de concentración de arsénico en los alimentos.

TABLA 2

Límite máximo para concentración de Arsénico en alimentos establecido en el D.S 977/96

Tipo de alimento	Límite máximo para el As (mg/kg) del producto final	Observaciones
Moluscos, crustáceos y gastrópodos	2,0	Arsénico inorgánico
Pescados frescos, enfriados, congelados y en conserva	1	
Jugos de frutas y hortalizas	0,2	
Jugos concentrados de frutas	0,2	En el producto reconstituido
Néctares de frutas	0,2	
Cereales, legumbres y leguminosas	0,5	

Fuente: Reglamento sanitario de los alimentos Decreto Supremo N° 977/95 Chile

2.2. Biosorción

El concepto biosorción de metales pesados, se refiere a la captación de iones metálicos por medio de una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos físico y químicos, como la absorción y el intercambio iónico, cuando se utiliza biomasa viva, los diferentes procesos metabólicos son indispensables para el desarrollo de cualquier organismo vivo que pueden contribuir en el proceso (Moreno & Ramos, 2018).

El proceso de biosorción es continuo, hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato biosorbido por la biomasa, el tipo y la calidad del biosorbente en una biomasa viva o muerta, están dadas por la calidad de sorbato que pueden atraer y retener en un instante determinado (Kapoor & Viraraghavan, 1998). Es un proceso biotecnológico de recuperación y descontaminación de un medio acuoso contaminado con metales pesados, los microorganismos que actúan como biosorbente son puestos en contacto con el medio acuoso contaminado y una vez que esta biomasa ha removido los iones metálicos del medio acuoso, se tiene la opción de recuperar la biomasa viva e introducirla en un nuevo ciclo de biorrecuperación o biorremediación (Moreno & Ramos, 2018).

2.3. Factores efectivos para la Biosorción

Factores que afectan a la biosorción de metales pesados como el (As), la biosorción depende de muchos factores que pueden afectarla, algunos de estos factores están relacionados con la biomasa o el metal, y otros están relacionados con las condiciones ambientales, los principales factores que afectan el proceso de biosorción son: temperatura, pH, dosis de biosorbente, tamaño del biosorbente y la concentración inicial del contaminante.

2.3.1. Efecto de la temperatura

La temperatura es un parámetro importante para la biosorción de metales pesados, un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del sorbente como la biomasa es de naturaleza porosa llegaría a generar un deterioro del material y pérdida de capacidad de sorción, el cambio de temperatura provoca un cambio en los parámetros termodinámicos como energía, entalpía y entropía, estos parámetros contribuyen a ayudar a comprender el mecanismo de biosorción (Horsfall & Spiff, 2005).

2.3.2. Efecto de pH

El pH es un factor muy importante, el valor de pH de la solución influye fuertemente no solo en la disociación del sitio de la superficie de la biomasa, sino también en la química de la solución de los metales

pesados: hidrólisis, complejidad orgánica e inorgánica, reacciones redox, precipitación, especiación y disponibilidad de biosorción de los metales pesados. Así mismo la absorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1 a 4 (Esposito et al., 2002).

2.3.3. Dosis del biosorbente

La dosificación del biosorbente influye en el grado de biosorción, un aumento en la concentración de biomasa aumenta la cantidad de soluto biosorbido, debido al área de superficie aumentada del biosorbente que a su vez aumenta el número de sitios de unión. (Esposito et al., 2002). Sin embargo, la cantidad de soluto biosorbido por unidad de peso de biosorbente disminuye con el aumento de la dosis de biosorbente que puede deberse a la interacción compleja de varios factores. Un factor importante a altas dosis de solvente es que el

soluto disponible es insuficiente para cubrir completamente los sitios intercambiables disponibles en el biosorbente, lo que generalmente resulta en una baja absorción de soluto (Tangaromsuk et al., 2002).

2.3.4. Tamaño de biosorbente

Para la absorción, el tamaño de partícula es un factor importante, ya que las partículas de tamaño reducido absorben más el contaminante esto se debe a que aumenta el área superficial de biosorbente (Choquejahua, 2018).

2.3.5. Concentración inicial del contaminante

Para que la biomasa sea efectiva debemos conocer la concentración inicial del contaminante que puede absorber, para que así el tratamiento sea eficaz (Choquejahua, 2018).

TABLA 3

Comparación de la eficiencia de biosorbentes biológicos usados para la remoción de arsénico

Tipo de Absorbente	pH	Temperatura a °C	Tiempo de contacto	Concentración Inicial mg/L	Dosis del biosorbente g/L	% de biosorción	Referencias
Trigo	5	Ambiente	2 – 4 Hor.	120 mg/L	---	>85%	(Farooq et al., 2010)
<i>C. Chrysogenum</i> (hongo)	4	25°	8	300 mg/L	1	74.5%	(Sahebi et al., 2007)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7	Ambiente	60 min	---	---	88%	(Jianlong & Can, 2006)
<i>Bacillus thuringiensis</i>	7	37°	6 horas	10.94 mg/L	0.05 g/L	75%	(Wahid et al., 2019)
<i>Aspergillus niger</i> (Hongo)	6	28°	24 horas	1 mg/L	1g	69%	(Santos et al., 2017)
Cascara de plátano	7	Ambiente	8 horas	---	4,8 y 12 g/L	95.5%	(Rios, 2014)
Microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	5	Ambiente	16 días	0.119 mg/L	---	>79%	(Bartra, 2019)
Frijol	5	Ambiente	17 horas	52.75 µg/l	3.3 g/L	78.9%	
Arroz	5	Ambiente	15 min	57.50 µg/l	3.3 g/L	77%	(Trelles, 2013)
Cebada	5	Ambiente	16 horas	62.75 µg/l	3.3 g/L	74.9%	
Cacao	5	Ambiente	45 min	83.25 µg/l	3.3 g/L	66.6%	
Chacko (<i>hidralgirita</i>)	7	25°	70 min	0.05 mg/L	---	84%	(Tapia, 2017)
Semillas de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	6	Ambiente	120 min	500 ml	2g	70.3%	(Aguirre, 2017)

2.4. Biosorbentes

El primer gran desafío para el campo de la biosorción fue elegir los tipos de biosorbente entre los biomateriales de gran disponibilidad y que sean de bajo costo, esto también dependerá de las propiedades de cada biomasa ya que algunas de estas biomásas son más eficientes, pero a la vez son biomásas difíciles de conseguir por tal motivo se tiene considerar los de bajo costo y fácil de conseguir para la remoción de arsénico (Tejada et al., 2015).

2.4.1. Tipos de biomasa

Se han probado una gran cantidad de tipos de biomásas para determinar su capacidad de remoción de metales pesados en diversas condiciones que incluyen productos como: arroz, cascara de plátano, café en polvo, hojas de plantas secas, cascara de semillas, residuos industriales, residuos de biomasa de la fermentación y la industria alimentaria, y otros materiales de polisacáridos (Volesky & Naja, 2007).

El desarrollo y la implementación de un proceso rentable para la absorción de metales es esencial para mejorar la competitividad de las operaciones de procesamiento, de tal manera obtiene una gran ventaja por las necesidades económicas y la eficiencia de remoción de estos metales pesados lo cual han resultado en el desarrollo de estas tecnologías (Tejada et al., 2015).

En los últimos años, ha habido una tendencia hacia la implementación de esquemas de tratamiento pasivo, debido a que estos aprovechan los procesos geoquímicos y biológicos naturales para mejorar la calidad del agua con requisitos mínimos de operación y mantenimiento, la eliminación biológica incluye el uso de microorganismos (hongos, algas y bacterias), plantas (vivas o muertas), cascara de frutos y biopolímeros el cual puede proporcionar un medio adecuado para el tratamiento de metales pesado (Kapoor & Viraraghavan, 1998).

TABLA 4

Tipos de biomásas que se han utilizado para biosorbentes

Categoría	Ejemplos
Bacterias	Bacterias grampositivas Bacterias gramnegativas Cianobacterias
Fungí	Hongos Setas Levaduras
Algas	Algas microalgas Macroalgas Algas pardas Algas rojas
Residuos industriales	Residuos de fermentación, residuos de alimentos/bebidas, lodos activados, lodos anaeróbicos, etc.
Desechos agrícolas	Desechos de frutas/vegetales, pajitas de arroz, salvado de trigo, soya, etc.
Residuos naturales	Residuos vegetales, aserrín, cortezas de árboles, malezas, etc.
Otros	Materiales impulsados por quitosano, materiales impulsados por celulosa

Fuente: Recopilado de (Farooq et al., 2010; Jianlong & Can, 2006; Mar & Afonso, 2011; Sahebi et al., 2007; Tapia, 2017; Trelles, 2013; Wahid et al., 2019)

2.4.2. Biomásas inertes y biomásas vivas

Los biosorbentes son materiales provenientes de diferentes microorganismos tales como la flora microbiana, algas, plantas, material residual, materiales agroindustriales o algunos biopolímeros, debido a que estos deben tener la capacidad de absorber directamente el metal de una solución, por lo que estas

biomasas son sometidas a tratamiento fisicoquímicos con el fin de mejorar su capacidad de remoción en los procesos de absorción de metales pesados (Lavado et al., 2012; Muñoz, 2007).

La propiedad que presenta el biosorbente está ligada a la cantidad de sorbato que pueda atraer y retener, y la implementación de nuevos materiales de bajo costo y con una mayor eficiencia en cuanto a la remoción de iones de metales presentes en aguas residuales, razón por la cual, se han evaluado diversos estudios viendo la eficiencia de muchas biomasas microbológica, vegetal, y animal, de igual manera diversos productos derivados de su pre tratamiento físico (Cuizano et al., 2009).

Diversas investigaciones que se han estado revisando, se tiene un registro de algunas de la biomasa como principales materiales que se usaron para la remoción de metales pesados en especial el Arsénico cabe decir que todas estas pruebas fueron realizadas en un medio acuoso. Aunque se han realizado un sin número de investigaciones donde diversos biosorbentes orgánicos e inorgánicos han sido estudiados, con la finalidad de evaluar su potencial de absorción de metales pesados (Caviedes et al., 2015).

TABLA 5

Materiales biosorbentes usados para la absorción de metales pesados

Tipo de absorbente	Biosorbente	Referencias
Organismos vivos	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Paecilomyces</i>	(Bhuvaneshwari & Sivasubramain, 2013; Gang et al., 2013; Perez et al., 2010)
Biomasas	Cascara de tamarindo Cascara de plátano Cascara y semilla de manzana Frijol, trigo, cebada	(Rios, 2014)
Biopolímeros	Bentonita, quitosano Quitosano Epiclorhidrinatrifosfato	(Morales et al., 2011)
Carbones activados	Carbón activado de Escherichacoli y carbón activado de Arthrobacter viscous Carbón activado de cascara de naranja Carbón activado de cascara de coco	(Farooq et al., 2010; Trelles, 2013)
Modificaciones químicas	Biomasa reticulada con glutaraldehído Biomasa reticulada con cloruro de calcio Biomasa modificada con ácido cítrico	(Tejada et al., 2015)
Otros materiales	Arena Zeolita Cenizas volantes	(Tejada et al., 2015)

La bioadsorción es un proceso que se empezó a utilizar a principios de los años 90 con el propósito de eliminar sustancias contaminantes en aguas residuales que provienen del sector industrial, al paso de estos años, las investigaciones se han centrado principalmente en la utilización de biomasas vivas o muertas. Sin embargo, se pueden apreciar una variedad de las biomasas, ya que las biomasas muertas son más eficientes al momento de remover metales pesados, dejando una ventaja en lo económico como también en el mantenimiento, por lo tanto, el uso de biomasas muertas evita el complemento de nutrientes y elimina el problema de toxicidad, además este proceso de absorción no se verá interrumpido por este tipo de biomasa muerta, además las biomasas vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de metales pesados (Tejada et al., 2015; Trelles, 2013).

TABLA 6

Principales ventajas y desventajas del uso de biomasas vivas e inertes en el proceso de biosorción

	Ventajas	Desventajas
Biomasa inerte	Es independiente del crecimiento Tratamientos rápidos y eficientes Fácil desorción No necesita nutrientes Limitaciones metabólicas Metales liberaos fáciles y recuperados	No dan mucho juego a mejora ya que no existe ningún metabolismo por el cual modificar parámetros Rápida saturación Sensible al pH Especies organometálicas no son susceptibles Menos solubles
Biomasa vivas	Se satura, pero las células pueden restablecerse por crecimiento Con el metabolismo se pueden generar cambios con bajo coste económico Se puede emplear dos a más organismos Los metales se depositan en un estado químico alterado Se pueden mejorar las cepas por medio del aislamiento o mutación genética	Toxicidad de los metales Nutrientes para el crecimiento Difícil desorción Solo se puede tratar metales en bajas concentraciones Recuperación de los metales por desorción es limitada

Fuente: Recopilado de (Salman et al., 2014; Tejada et al., 2015; Trelles, 2013)

3. Conclusiones

La biosorción es una alternativa para el tratamiento de aguas con arsénico por su alto porcentaje de remoción, bajo costo y fácil operación

Para aguas con altos niveles de arsénico las biomasas inertes son más eficiente que las biomasas vivas, además, las biomasas inertes son fáciles de conseguir y menos costosas.

De las revisiones realizadas la cascara de plátano, vainas de frijol, cascarilla arroz y granos cebada obtienen mejores resultados para la biosorción de arsénico.

4. Referencias

- Agreda, O., Rojas, M., & Sarmiento, A. (2005). Evaluación diagnóstica del contenido de arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua potable del Estado Carabobo, Venezuela. *Gaceta Médica de Caracas*, 113(1), 8.
- Aguirre, N. (2017). Absorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Una - Puno*, 1(1), 118.
- Bartra, S. (2019). Evaluación de la remoción de arsénico utilizando la microalga *Chlorella vulgaris* en aguas superficiales del río Uchuma- Tacna. *Universidad Privada de Tacna*, 1(1), 74.
- Bhuvaneshwari, S., & Sivasubramain, V. (2013). Comparative studies for chitosan yield and chelating ability of *Aspergillus niger* and *Rhizopus oryzae*. *Bioresource Technology*, 1(1), 4.
- Bournod, L., Cabezas, E., & Perez, C. (2010). Remoción del Arsénico mediante Coagulación, Filtración y sedimentación, Comparación con tecnologías disponibles y análisis de una planta tipo. *Seminario*, 1(1), 22.
- Buchet, J., & Lison, D. (2000). Clues and uncertainties in the risk assessment of arsenic in drinking water. *An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 1(1), 5.
- Calcina, M. (2017). Evaluación geoquímica del arsénico en aguas subterráneas de la subcuenca del río Callacame, Desaguadero Puno. *Tesis EPG UNA - PUNO*, 1(1), 91.
- Caviedes, D., Muñoz, r amiro, Perdomo, A., Rodriguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una

- revisión. *Revista Ingeniería y Región.*, 1(1), 18.
- Choquejahuá, 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 Grado*, 1(1), 89.
- Cuizano, N., Llanos, B., & Navarro, A. (2009). Aplicaciones ambientales de la absorción mediante biopolímeros naturales: parte 1-compuestos fenólicos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 14.
- Escarcena, C. (2018). Remoción del arsénico de las aguas municipales y pozos domésticos en la ciudad de Juliaca por precipitación alcalina. *Tesis UNA-PUNO*, 1(1), 106.
- Esposito, A., Pagnanelli, F., & Veglio, F. (2002). "pH-related equilibria models for biosorption in single metal systems." *Chemical Engineering Science*, 1(1), 7.
- Farooq, U., Kozinski, J. A., Khan, M. A., & Athar, M. (2010). Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents - A review of the recent literature. *Bioresource Technology*, 101(14), 10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.030>
- Franco, F., & Carro, M. (2014). "Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 13.
- Galetovic, A., & Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39(4), 13.
- Gang, X., Xin, Z., & Haijia, su. (2013). Plate column biosorption of Cu(II) on membrane-type biosorbent (MBS) of *Penicillium* biomass: Optimization using statistical design methods. *Bioresource Technology*, 143(1), 8.
- Horsfall, M., & Spiff, A. (2005). Effect of Temperature on the Sorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ from Aqueous Solution by *Caladium bicolor* (Wild Cocoyam) Biomass. *Electronic Journal of Biotechnology*, 8(2), 9.
- Jianlong, W., & Can, C. (2006). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*, 24(5), 25.
- Kapoor, A., & Viraraghavan, T. (1998). Biosorption of heavy metals on *Aspergillus niger*: Effect of pretreatment. *Bioresource Technology*, 63(2), 4.
- Lavado, C., Sun, maria del rosario, & Recuay, N. (2012). Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 13.
- Mar, M., & Afonso, M. dos santos. (2011). Biosorción: un método alternativo para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados. *Química y Civilización*, 1(1), 8.
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Arsenic Intake: Impact in Human Nutrition and Health*, 35(1), 10.
- Morales, G., Kan, C., Dalida, M., Hsien, K., & Pascua, C. (2011). Comparative and competitive adsorption of copper, lead, and nickel using chitosan immobilized on bentonite. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 8.
- Moreno, S., & Ramos, G. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 1(1), 18.
- Muñoz, J. (2007). Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada. *Tesis EP Química*, 1(1), 82.
- Murugesan, G., Sathishkumar, M., & Swaminathan, K. (2006). Arsenic removal from groundwater by pretreated waste tea fungal biomass. *Bioresource Technology*, 97(3), 5.
- Nilanjana, D. (2010). Recovery of precious metals through biosorption — A review. *Hydrometallurgy*, 103(4), 10.
- Perez, A., Ortuño, J., Aguilar, M., Meseguer, V., Saez, J., & Llorens, M. (2010). Use of chemical modification to determine the binding of Cd(II), Zn(II) and Cr(III) ions by orange waste. *Biochemical Engineering Journal*, 53(1), 4.
- Pinzo, M., & Cardona, A. (2010). "Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo." *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 20.
- Ravenscroft, P., & Brammer, H. (2009). Arsenic in groundwater: A threat to sustainable agriculture in South and South-east Asia. *Environment International*, 1(1), 10.
- Rios, P. (2014). Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de Banano maduro en polvo. *Tesis Ingeniería En Alimentos*, 1(1), 107.

- Sahebi, S., Khaniki, G., Torabian, A., & Nasser, S. (2007). Removal of arsenic from an aqueous solution by pretreated waste tea fungal biomass. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 4(2), 7.
- Sala, L., García, S., González, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Mangiameli, F., Blanes, P., Mogetta, M., Andreu, V., Atria, A., Manuel, J., & Peregrin, S. (2010). Biosorción Para La Eliminación De Metales Pesados En Aguas. *Química y Medio Ambiente*, 1(1), 114–120.
- Salman, A., Ibrahim, I., Tarek, M., & Abbas, S. (2014). Biosorption of Heavy Metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*, 3(4), 30.
- Santos, E., Vargas, J., Cardenas, J., & Acosta, I. (2017). Remoción de Arsénico (V) en Solución Acuosa por Biomasa Modificada del Hongo *Aspergillus niger*. *Información Tecnológica*, 28(6), 8.
- Saulo, A. (2012). Arsenic in Foods. *Food Safety and Technology*, 1(1), 2.
- Tangaromsuk, J., Pokethitayook, P., Kruatrachue, M., & Upatham, E. (2002). Cadmium biosorption by *Sphingomonas paucimobilis* biomass. *Bioresource Technology*, 3.
- Tapia, L. (2017). Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgiritita) en Aguas Subterráneas Contaminadas del Distrito de Taraco – Puno. *Environmental Health Perspectives*, 1(1), 126.
- Tejada, C., Villabona, A., & Garcez, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnologías*, 18(34), 15.
- Tintaya, C. (2019). Adsorción de arsénico de las aguas municipales y pozos domésticos en la ciudad de Huancané por coagulación - floculación. *Environmental Health Perspectives*, 1(1), 89.
- Trelles, J. (2013). Biosorción de Arsénico en medio acuoso empleando biomasa vegetal inerte. *Tesis de Maestría*, 1(1), 109.
- Volesky, B., & Naja, G. (2007). Biosorption technology: Starting up an enterprise. *International Journal of Technology Transfer and Commercialisation*, 9.
- Wahid, A., Hassan, A., & Abu, S. (2019). The adsorptive removal of As (III) using biomass of arsenic resistant *Bacillus thuringiensis* strain WS3: Characteristics and modelling studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 172(1), 9.
- Xinqing, C., Koon Fung, L., Shuk Fong, M., & King Lun, Y. (2011). Precious metal recovery by selective adsorption using biosorbents. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 9.

