



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tipos de Biosorbente de Metales Pesados de lixiviados en un
vertedero: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES:

Gonzales Sullcaray, Evelin (0000-0001-8054-2720)

Silva Silupu, Diana Elizabeth (0000-0002-9722-614X)

ASESOR:

Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis amados padres Paulina Sullcaray Soto y Hernan Gonzales Mallqui; mis hermanos Jose Luis, Elena y Rocio Gonzales Sullcaray, a quienes les estoy muy agradecida por brindarme su apoyo, motivación a cumplir mis metas y no detenerme ante las dificultades de la vida. También agradezco a mis amigas y amigos que creyeron en mí en todo momento.

Gonzales Sullcaray, Evelin

La presente tesis está dedicada a mi madre, hermano, tíos quienes me brindaron su apoyo y me motivaron en cada momento de mi preparación a seguir creciendo a nivel personal y profesional.

Silva Silupu, Diana

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por brindarnos la vida. A nuestra casa de estudio la Universidad César Vallejo a los Ingenieros en particularmente a nuestro asesor Ing. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, quien siempre estuvo ahí alentándonos. A nuestra familia por su amor, apoyo y sacrificio en estos años. A mis compañeros que hemos interactuado de la manera más colectiva en esta etapa académica y a mi familia que estuvo ahí.

A todos ellos nuestro agradecimiento infinito.

Gonzales Sullcaray, Evelin

Silva Silupu, Diana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURA	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de la investigación	20
3.2. Categorías y Matriz de categorización	21
3.3. Escenario de estudio	22
3.4. Participantes	22
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.6. Procedimientos	23
3.7. Rigor científico	24
3.8. Métodos de análisis de datos	25
3.9. Aspectos éticos	26
IV. RESULTADOS	27
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de categorización	21
Tabla 2. Tipos de biosorbentes más utilizados	27
Tabla 3. Tipos de metales pesados	33
Tabla 4. Importancia de los biosorbentes	37

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Flujograma de procedimientos	23
--	----

RESUMEN

El objetivo general es analizar, a partir de una revisión sistemática, los tipos de biosorbentes de metales pesados en los lixiviados de un vertedero. La metodología utilizada fue de tipo narrativo aplicado y tópico. Los participantes de esta investigación fueron buscados en repositorios digitales, como: Scopus, ScienceDirect, SpringerLink. La técnica de análisis documental o de contenido, mediante la cual se entiende el procesamiento analítico-sintético que incluye la descripción bibliográfica de la fuente. La presente investigación fue cualitativa, con validez y confiabilidad de acuerdo a lo señalado por los artículos científicos consultados, aplicando los criterios de exclusión e inclusión. Los resultados mostraron que los biosorbentes más utilizados son hongos, algas, bacterias, plantas, residuos agrícolas e industriales; y biorreactores (lodos humidificados), que adsorben los contaminantes presentes en los vertederos, con una efectividad promedio del 82,88%. Los metales pesados más comunes encontrados en los artículos analizados fueron Fe, Cd, Pb, Cr, As, Ni, Zn, Cu. La importancia de los biosorbentes radica principalmente en la reducción efectiva de metales pesados que se encuentran en aguas y suelos contaminados, lo que hace recomendable el uso de organismos para el tratamiento de vertederos.

Palabras claves: Lixiviados, metales pesados, biosorbentes, biosorción, vertederos.

ABSTRACT

The general objective is to analyze, from a systematic review, the types of heavy metal biosorbents in leachate from a landfill. The methodology used was of an applied and topical narrative type. The participants of this research were searched in digital repositories, such as: Scopus, ScienceDirect, SpringerLink. The documentary or content analysis technique, through which the analytical-synthetic processing that includes the bibliographic description of the source is understood. The present investigation was qualitative, with validity and reliability according to what was stated by the consulted scientific articles, applying the exclusion and inclusion criteria. The results showed that the most widely used biosorbents are fungi, algae, bacteria, plants, agricultural and industrial residues; and bioreactors (humidified sludge), which adsorb the pollutants present in landfills, with an average effectiveness of 82.88%. The most common heavy metals found in the analyzed articles were Fe, Cd, Pb, Cr, As, Ni, Zn, Cu. The importance of biosorbents lies mainly in the effective reduction of heavy metals found in contaminated waters and soils, which makes the use of organisms for the treatment of landfills recommended.

Key words: Leachates, heavy metals, biosorbents, biosorption, landfills.

I. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos de modernidad, los vertederos de los residuos sólidos se convierten en fuente principal de elementos tóxicos que pueden perturbar a los individuos, originados de desperdicios y basura (Mahmoud, 2015, pág. 267). Este líquido es denominado lixiviado, el cual es uno de los factores contaminantes, más tóxicos que existe, su color negro y olor penetrante contaminan el agua superficial y subterránea; y suelos, trayendo consecuencias riesgosas para la vida del animal y humana (Fernández, 2016, pág. 2). Aunque son pocos los que le toman interés a este tipo de líquido, se sabe que al transcurrir del tiempo se convierte en contaminante, su toxicidad depende de los tipos de residuos que estén en el vertedero (Suhaib, Harith, Ghassan, Mohammed, & Tushar, 2020, pág. 354).

A nivel internacional, se está creando una cultura ecológica que tiene como propósito controlar la emanación de lixiviados como fuente de contaminación ambiental (Shamin, 2018, pág. 2). En Europa se está concientizando sobre los residuos en vertederos, planteando que esta debería ser la última opción ante esta problemática (Sriharsha, Lokesh, & Savitha, 2017, pág. 590). La valoración energética y el reciclado es la principal acción practicada en el mundo para minimizar los contaminantes (Atul & Varun, 2021, pág. 3). Los tratamientos de lixiviados se asemejan a los métodos de asepsia de las aguas residuales, pero hay desacuerdos en cuanto a su carga contaminante, ya que en Estados Unidos hallaron en los vertederos, lixiviados compuestos de tetracloruro de cadmio (Cd), carbono (CCl₄), Cloruro de metilo (CH₂ Cl₂), plomo (Pb), arsénico (Ar), clorobenceno 55 (C₆H₅Cl), sustancias cancerígenas, y cualquier otro metal pesado que no son solo persistentes, sino también bioacumulables (Trujillo, Quintero, & Vega, 2019, pág. 5).

A nivel latinoamericano, las pérdidas millonarias de alimentos orgánicos cada día crecen más, lo que ha generado, mayor número de residuos sólidos (Ej. 70% en Colombia) (Susunaga & Estévez, 2018, pág. 166). Los vertederos trabajan como la disyuntiva transcendental para tratar definitivamente a los residuos sólidos, debido a su viabilidad económica y técnica (Mayor, Agudelo, García, & Padilla, 2018, pág. 60). La cultura latinoamericana aún no ha interiorizado la necesidad de reciclar y

reutilizar, por ello los residuos orgánicos generan una problemática grave en el medio ambiente al momento de disponer en ellos, puesto que, en su proceso de descomposición liberan un líquido que se mezcla a su vez, con otros desechos, lo cual produce que los lixiviados sean tóxicos, sin sumar que estos vertederos no cuentan esencialmente con planta de tratamiento o, si existe, no funcionan de la manera adecuadamente (Trujillo, Quintero, & Vega, 2019, pág. 78).

A nivel nacional, pocos estudios tocan la temática de los lixiviados como fuente de contaminantes de suelos y aguas. Conforme al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, tan solo en Perú concurren aproximadamente un equivalente de 1.585 botaderos; y, casi la mitad de los residuos sólidos no llegan siquiera a un vertedero, siendo abandonados en lugares inadecuados, perturbando no solo la salud de los pobladores sino también del medio ambiente (OEFA, 2018). Se supone que los vertederos están diseñados para convertirse en un lugar donde los residuos sólidos lleguen como su disposición final, sean estos orgánicos o inorgánicos (Mueda, Almandoz, & Santillán, 2019, pág. 25). Perú genera grandes cantidades de residuos, pero ni la mitad reciben tratamiento, esto causa que, al no contar con vertederos, las personas hacen aparecer botaderos ilegales que originan focos infecciosos (Zafra & Romero, 2019)

Lo anteriormente comentado, impacta negativamente en la salud de los peruanos y del medio ambiente. La solución a todo esto es obvia: clasificación de los residuos desde cada hogar, con una cultura ecológica recicladora (Jagodzińska, y otros, 2021, pág. 1). Por ello, se requiere concientizar e informar a los individuos sobre la categoría para evitar la formación de lixiviados contaminantes (Liua, y otros, 2020, pág. 1). Las técnicas de tratamiento de lixiviados deben llevar esa cultura biodegradable con el propósito de perfeccionar la vida de los seres vivos (Alamun, Ahmed, & Howladar, 2020, pág. 1).

Por tanto, se hace necesaria esta investigación, porque es importante determinar los diferentes tipos de biosorbentes que pueden ser utilizados finalmente en el procedimiento de eliminación de metales pesados en los lixiviados emanados por los residuos sólidos (Bernat, Zaborowska, Wojnowska, & Piotrowicz, 2021, pág. 1). Por ende, esta investigación además de innovadora, pretende realizar un aporte a los conocimientos, lineamientos y referencias técnicas que persiguen alcanzar el

adecuado tratamiento natural de los residuos sólidos, a fin de contribuir con la eliminación de los metales pesados en lixiviados, especialmente en el contexto nacional.

Ante lo anteriormente planteado, cabe presentar como problema general: ¿Cuáles son los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero?

P.E.1. ¿Cuáles son los tipos más utilizados de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero?

P.E.2. ¿Cuáles son los metales pesados más comunes en lixiviados en un vertedero?

P.E.3. ¿Cuál es la importancia que tienen los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero?

La justificación científico-teórico de esta indagación está en que a través de ella se ofrecen conocimientos, definiciones, conceptos y teorías al culminarla, lo que es útil para Perú y para los demás países, debido a que el tema es poco estudiado, y de esta forma, poder entender mejor las variables de esta indagación como son los biosorbentes para la eliminación de los metales pesados en los lixiviados, sirviendo esta indagación como referencia para futuras investigaciones elaboradas en esta esfera.

La justificación práctica se encuentra en que al realizar el estudio de una revisión sistemática para identificar qué tipo de biosorbente es más efectiva para eliminar metales pesados en lixiviados, se hallan una serie de ventajas, como: protección ambiental, soluciones ecológicas, reciclaje, reutilización de residuos orgánicos, eliminación de contaminantes tóxicos, que hacen valorar el estudio ante la comunidad, con el propósito de cuidar a los seres vivos y mejor la calidad de vida.

Por ende, como objetivo general se plantea de la siguiente forma: Analizar a partir de una revisión sistemática los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

O.E.1. Identificar los tipos de biosorbentes de metales pesados más utilizados en lixiviados en un vertedero.

O.E.2. Establecer los metales pesados más comunes en lixiviados en un vertedero.

O.E.3. Establecer la importancia de los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero.

II. MARCO TEÓRICO

Este tema de investigación ha tenido mucha trascendencia en la práctica, por ello, se realiza una revisión exhaustiva de los estudios existentes y que, de alguna manera, se relacionen con la temática, entre los cuales se mencionan los siguientes:

(Imron, Kurniawan, & Abdullah, 2021), realizaron una indagación planteando como objetivo determinar la resistencia de bacterias aisladas de lixiviados en vertederos. Se aislaron cuatro bacterias aproximadamente 33×10^{17} unidades formadoras de colonias por ml identificadas en lixiviados de vertederos no activos. Se realizó una prueba de resistencia a metales pesados para Hg, Cd, Pb, Mg, Zn, Fe, Mn y Cu (0-20 mg/L-1). Los resultados mostraron que el crecimiento de estas bacterias es promovido por Fe, Mn y Cu, pero inhibido por Hg, Cd, Pb, Mg y Zn. La concentración mínima inhibitoria (MIC) de todas las bacterias en Fe, Mn y Cu fue >20 mg-1. La CMI de *v. damsela* fue de 5 mg-1 para Hg y >20 mg L-1 para Cd, Pb, Mg y Zn. Para *P. aeruginosa*, la CMI fue >20 mg L-1 para Cd, Pb, Mg y Zn y 10 mg L-1 para Hg. Mientras tanto, el MIC de *P. stutzeri* fue >20 mg L-1 para Pb, Mg y Zn y 5 mg L-1 para Hg y Cd. La CMI de *P. fluorescens* para Hg, Pb, Mg y Zn fue de 5.5, 15 y 20 mg L-1, respectivamente, y la de Cd fue >20 mg L-1. De los resultados de MIC, el Hg es el metal pesado más tóxico.

(Ma, y otros, 2021), realizaron un artículo, en el que analizaron el contenido de metales pesados en el sedimento superficial de 20 puntos de muestreo en el lago Wolong de Shenyang. El grado de acumulación y el riesgo potencial de contaminación por metales pesados en el sedimento se evaluaron mediante el índice de acumulación geológica y el potencial riesgo ecológico. Los resultados mostraron que el orden de los seis índices de acumulación de metales pesados fue Cd > Zn > Ni > Cr > Cu > Pb. De acuerdo con los estándares de evaluación relevantes, el principal contaminante de metales pesados en el sedimento fue Cd, y el orden de riesgo de los peligros ecológicos fue Cd > Ni > Cu > Zn = Pb > Cr. Los resultados mostraron que se puede elevar efectivamente el pH (2.3 en CK, 7.8 en R-SCa). La evaluación del índice potencial de riesgo ecológico demostró que el nivel es riesgos

de los metales pesados en el sedimento del lago Wolong era bajo con un porcentaje de absorción de 70%.

(Zhang, y otros, 2021), plantearon una indagación en la que esbozaron que un biosorbente a base de tanino de caqui (PT) e inmovilizado de 2,5-dimercapto-1, 3, 4 tiadiazol (DMTD), puede sintetizar los metales provenientes de residuos electrónicos. La adsorción por lotes reveló que tanto PT como DMTD tenían una afinidad más débil por los cationes metálicos. Sin embargo, DMTD y PT adsorbieron 98,7% y 20,7% de Ag (I), respectivamente, con una dosis de 5,0 g L⁻¹ cada uno a pH 3.0 de lixiviados de desechos electrónicos que contenían 117.3 mg L⁻¹ de Ag (I) a temperatura ambiente. Estas observaciones indican que la selectividad de DMTD es superior a la de PT. La adsorción en columna demostró además que DMTD se puede usar para separar Ag (I) de los lixiviados de desechos electrónicos. La adsorción de Ag (I) en DMTD-PT se ajusta bien a la isoterma de Langmuir que cuenta con la capacidad de absorber 50,7 mg/g⁻¹.

(Ociński, y otros, 2021), plantearon un artículo en el que estudiaron la comunidad de macroalgas, el reservorio contaminado por Cr (VI) situado cerca de un vertedero de desechos de cromo, para reconocer los principales mecanismos de desintoxicación de Cr (VI) por parte de las especies de algas. El análisis taxonómico realizado reveló una composición mixta de las formas filamentosas de algas y mostró que tres especies que no han sido estudiadas antes con respecto a los mecanismos de remoción de Cr (VI). La comunidad de algas estudiada *Tribonema*, tienen la capacidad de crecer en altas concentraciones de Cr (VI), es decir, hasta 6150 veces el límite superior para el agua superficial, exhibió propiedades hiperacumulativas para el cromo (máximo 16230 mg / kg de peso seco) en las condiciones ambientales dadas. Descubrimos que el principal mecanismo de desintoxicación de Cr (VI) fue la reducción seguida de la biosorción de Cr (III) - factible por intercambio de iones y mecanismos de complejización y que la excelente eficiencia de la reducción de cromo.

(De Souza, y otros, 2021), plantearon en su artículo que el lixiviado de vertederos es un efluente tóxico con composición que puede variar y el tratamiento biológico con microalgas representa una alternativa prometedora para la biorremediación. El lixiviado de vertedero tratado (TSL) recolectado después de someterse a un

tratamiento secundario, utilizó cultivo de *Scenedesmus sp.* (Clorofíceas). El TSSL se mezcló con agua del grifo para obtener diferentes concentraciones (0, 20, 40, 60, 80 y 100% de TSSL) antes del cultivo de microalgas con el objetivo de maximizar la producción de biomasa y lípidos. La mejor concentración para *Scenedesmus Sp.* El crecimiento fue del 80% de TSSL, lo que resultó en productividades de lípidos y biomasa de 420 y 36 mg L⁻¹ D⁻¹, consecutivamente, altas concentraciones de ácidos grasos oleico (C 18:1) y palmítico (C 16:0), y eliminación efectiva de nitrógeno (NO₃, ~69 %) y fósforo (PO 3-1, 87%). Eliminaron metales (Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Rb y Zn) del 80% de TSSL mediante biosorción, lo que sugiere que la microalga se puede utilizar para remediar las aguas residuales que tienen una alta capacidad contaminante, permite simultáneamente la purificación de aguas residuales y la producción de una biomasa rica en lípidos. La proporción de C16-C18. Los ácidos grasos de esta biomasa la hacen adecuada para la producción de biodiésel.

(El Mrabet, y otros, 2020), llevaron a cabo un trabajo, examinando la eficiencia de la coagulación y luego la adsorción en un bioadsorbente. Se evaluó la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), la turbidez y el color del lixiviado del vertedero urbano de la ciudad de Fez (Marruecos) tras el tratamiento. Se utilizó cloruro férrico como coagulante en el pretratamiento de coagulación-floculación del lixiviado, y se emplearon conos de *Cupressus sempervirens* para absorber los contaminantes en el lixiviado coagulado. El proceso de coagulación resultante redujo la DQO en un 69%, la DBO en un 60% y el color del lixiviado en un 88%. Después de la adsorción del lixiviado de vertedero pretratado en conos de *Cupressus sempervirens*, se encontró que la DQO, la DBO 5 y el color del lixiviado eran 86%, 96% y 93% más bajos que sus valores originales, respectivamente.

(Saadat, Ghorbanzadeh, Bagher, & Fazeli, 2020), tiene como objetivo evaluar la eliminación de fosfato, nitrato y amonio del lixiviado del vertedero de Saravan por la *chlorella vulgaris*. Se investigó el efecto del lixiviado sobre las características de crecimiento de la *chlorella vulgaris*, incluyendo el peso celular seco, el contenido de clorofila y de carotenoides. El experimento se realizó como medidas repetidas en un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones. Los niveles de lixiviado

se consideraron como parcela principal (lixiviado cero (L0), lixiviados diluidos de 1:1 (L11) y 2:1 (L21) y el tiempo de muestreo (0, 2, 4, 6 y 8 días) como subparcela. La clorofila total en el tratamiento, que fue la máxima en el tratamiento L11 fue significativamente mayor que la del tratamiento L21 ($p < 0,05$). El porcentaje de eliminación de fosfato, nitrato y amonio al final del 8º día de incubación fue de 92, 76, 56, 94 y 98, 70, respectivamente. Los resultados mostraron que la eliminación de nutrientes seguía el modelo de primer orden.

(Licare, 2019), tiene como objetivo, comprobar la eficacia que tienen las cáscaras de tuna en la eliminación de plomo existente en aguas contaminadas por residuos y que no son aptas para su uso, y así demostrar su efectividad para reducir efectos contaminantes. Para ello se procedió a tomar una porción considerable de agua residual para allí medir la cantidad de plomo que se encuentra presente en la misma, se hicieron varias muestras las cuales se pusieron en contacto con las cáscaras de tuna, tomando en cuentas diversos factores importantes en la obtención de los resultados. Una vez hecho el procedimiento se procede a evaluar en cada muestra la cantidad de plomo que ha sido reducido durante el proceso de adsorción, para así determinar si aplicar estos métodos tendría eficacia en la práctica. Con esto se logró demostrar que, mediante la aplicación de métodos químicos apropiados, la cáscara de tuna redujo un 85 % considerablemente y en mayor proporción los metales presentes por los lixiviados en las aguas residuales, por lo que se recomienda su uso para el tratamiento.

(Muedas, Almandoz, & Fátima, 2019), realizaron una investigación dirigida a comprobar si elementos compuestos de magnetita, hidroxiapatita y nanotubos de carbono de pared múltiple, a través de un proceso podrían cumplir funciones de adsorción. Para ello se tomó en cuenta, la influencia que pudieran tener diversos factores a los que se expusieron; así como, la concentración de adsorbente y el tiempo de contacto. Una vez finalizado el procedimiento, se concluyó, que se redujo considerablemente y en mayor proporción los metales pesados encontrados en las muestras tomadas, lo cual lo redujo un 80.6%, por lo que se recomienda el uso de estos elementos para el tratamiento de aguas residuales y la reducción de la contaminación ambiental.

(Pathirana, y otros, 2019), realizaron un estudio para determinar la cuantificación de la influencia de reducción de metales pesados en las aguas residuales. Este estudio cuantifica la influencia y la importancia relativa de las propiedades fisicoquímicas seleccionadas de tres metales pesados diferentes: Cu^{2+} , Cd^{2+} y Pb^{2+} utilizando un análisis multivariante. Se crearon 21 mezclas de biosorbentes, variando sistemáticamente sus propiedades físico-químicas, utilizando residuos de fábricas de té y biocarbón de cáscara de coco. Se aplicaron métodos de medición para considerar hasta dónde es capaz este proceso fisicoquímico. Todos los modelos resultaron tener una alta fiabilidad con valores de R^2 superiores a 0,98. Se encontró que el conjunto de átomos de la superficie ácida actúa como la propiedad clave que gobierna la capacidad de adsorción de Pb^{2+} , Cu^{2+} y Cd^{2+} . Los grupos carboxílicos tuvieron un gran impacto en la adsorción de Cu^{2+} y Pb^{2+} , mientras que los grupos lactónicos fueron más importantes en relación a sitios de unión a Cd^{2+} . El área superficial específica (SSA) no demostró gran relevancia en cuanto a la capacidad de adsorción de estos tres metales por sí solo cuando el biosorbente tenía una baja densidad de átomos en la superficie.

(Bianchi, y otros, 2021), en su artículo plantearon que los métodos de sorción se utilizan ampliamente para la eliminación de trazas de metales en lixiviados. *Phragmites australis* es una macrófita comúnmente utilizada en humedales artificiales para la purificación de agua. La metodología aplicada para este estudio fue de diseño narrativo de tópicos. En un enfoque de economía circular, este estudio de literatura habla sobre la mejora de la eliminación de metales mediante el reciclaje de la biomasa de *P. australis* colonización de un humedal artificial, que opera como postratamiento de aguas residuales efluentes de una planta de lodos activados al servicio del distrito industrial textil de Prato (Italia). Después de la siega anual de plantas de carrizo, la biomasa se secó y mezcló para obtener un biosorbente sostenible, ecológico y se investigó su capacidad de sorción de Fe, Cu y Zn comparando el sistema por lotes con la técnica de columna más fácil de manipular. También se evaluó la posibilidad de regeneración y reutilización del biosorbente; este biomaterial mostró una interesante capacidad de sorción para Cu, Fe y Zn, tanto en experimentos por lotes como en columna, especialmente para iones Fe. La inmovilización del biosorbente en los filtros de columna alguna mejora

en la eficiencia de eliminación de metales en lixiviados de vertederos. Teniendo como resultado la eliminación del Fe alrededor de 95%, Zn 73% y Cu 91%.

(Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019), realizó un estudio que tuvo como objetivo determinar la capacidad micorremediativa de consorcios de 12 especies de hongos filamentosos autóctonos de vertederos de suelos contaminados con metales pesados. La tolerancia de hongos a metales pesados se determinó mediante la técnica del diámetro de crecimiento radial. Dos categorías de consorcios de hongos, moderadamente tolerantes se utilizaron para enmendar el suelo contaminado; mientras tanto, el suelo sin enmendar sirvió como control. Se informó un índice de tolerancia máximo de 1,0 en medio del agar dextrosa de patata (PDA) modificado con Cr, Cu y Fe. Mientras tanto, las eficiencias máximas de bioremediación de metales pesados fueron para suelos tratados por consorcios de hongos altamente tolerantes y se registraron como As (62%)> Mn (59%)> Cu (49%)> Cr (42%)> Fe (38%). Asimismo, la constante de velocidad máxima de remoción de metal (K) y las vidas medias ($t_{1/2}$) fueron 0.0097/día 71 días, 0.0088/día 79 días, 0.0067 / día 103 días, 0.0054/día 128 días y 0.0048/día 144 días para As, Mn, Cu, Cr y Fe, respectivamente, que fueron todos para suelo tratado con consorcio de hongos altamente tolerantes.

(Carvajal & Cardona, 2019), realizaron una investigación que se enfocó en la disminución de metales pesados generados en los vertederos por los desechos sólidos, para disminuir los efectos contaminantes que estas generan; así mismo, se aplicó en soluciones acuosas sintéticas que podrían aplicarse a los lixiviados de los vertederos. Se discute y evalúa cuáles de ellas tienen mejores tasas de remoción y mayores niveles de eficiencia en la minimización de la presencia de factores contaminantes en los lixiviados, como mercurio, cromo, plomo, níquel y cobre, entre otros. La primera parte del documento presenta las llamadas tecnologías convencionales, como el tratamiento químico, físico y electroquímico. Estas han sido utilizadas para tratar diferentes aguas residuales, especialmente residuos industriales, funcionando técnicamente de forma adecuada, pero con altos costos y la producción de productos secundarios. La aplicación de procesos biológicos para lixiviados se podría considerar que el tratamiento tiene una alta idoneidad, dado que los resultados de la investigación muestran tasas de eliminación

superiores al 90% para la mayoría de los casos estudiados, y un cambio en función de la biomasa seleccionada. Esta situación ayuda a cumplir con los límites permitidos establecido en la legislación para vertido al agua fuentes.

(Safitri, y otros, 2019), en este estudio se llevó a cabo la biodegradación de los lixiviados por microorganismos para reducir el contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas nocivas. El propósito fue evaluar la biodegradación potencial de aislados de bacterias de los lixiviados de los vertederos. El método utilizado en este estudio es un método experimental con tres repeticiones. Los parámetros observados incluyeron los niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólido suspendido total (SST) y amoníaco, durante 14 días el proceso de biodegradación. Los resultados de la investigación se analizaron mediante un análisis de variedades (ANOVA) seguido de la prueba de distancias múltiples de duncan. Los resultados mostraron que un consorcio de *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas putida* *Nitrobacter* y *Nitrosomonas (K3)* capaz de reducir los niveles de DBO en un 68%, reducir los niveles de DQO en un 89%, los SST en 71%, y el amoníaco en un 92%, reduciendo el 90% del cromo y el 90% del plomo.

(Juan, 2018), realiza un estudio con el fin de demostrar el peligro ambiental que se presenta en los vertederos por el inadecuado manejo de los lixiviados, para así proponer soluciones que permitan contribuir en la reducción de sustancias que afecten negativamente al medio ambiente; de esta manera buscan, sistematizar un conjunto de técnicas y procedimientos que se llevaron a cabo durante el proceso para lograr obtener la respuesta planteada. Se tomaron diversas muestras en diferentes puntos y épocas, a los resultados obtenidos se les aplicó el método estadístico descriptivo de frecuencias, la correlación estadística bivariada y la fiabilidad a nivel de escala, para darle mayor confiabilidad. En esta investigación se concluyó que el mal manejo de los lixiviados en los vertederos causa un gran impacto social; debido a que la toxicidad, los daños al ecosistema y a la salud de los seres vivos son de gran magnitud.

(Velkova Z. , y otros, 2018), se hace uso de biosorbentes microbianos inmovilizados para la eliminación de metales pesados. El crecimiento industrial y urbano intensivo ha provocado la liberación de cantidades cada vez mayores de contaminantes

ambientales. La biosorción garantiza la protección del ecosistema; al ser utilizada, la biomasa microbiana muerta es capaz de eliminar y concentrar los iones metálicos de las soluciones acuosas. Los biosorbentes microbianos libres son de pequeño tamaño y baja densidad, lo que provoca problemas de desorción de los iones metálicos, de separación del biosorbente del medio y de su regeneración, por lo que las posibilidades de implementación de procesos continuos de biosorción reducir los metales pesados en sistemas de reactores de tipo fluido son reducidas y la aplicación práctica de la biosorción en condiciones industriales es limitada. Al inmovilizar la biomasa microbiana en soportes adecuados se eliminan las desventajas de los biosorbentes libres y se abren más oportunidades para el uso práctico de la biosorción.

(Li, y otros, 2018), los microorganismos de los arrozales y la hematita cruda se utilizan para mejorar la bio-reducción de Fe (III), con el fin de eliminar los contaminantes orgánicos macromoleculares del lixiviado humificado del vertedero. La hematita puede adsorbir el 60% de los orgánicos refractarios en 12 días. En presencia de bacterias reductoras de Fe (III), $489,60 \pm 0,14$ mg L⁻¹ de materia orgánica disuelta pueden degradarse a $51,90 \pm 3,96$ mg L⁻¹ dentro de los 50 días; se pueden degradar doce tipos de compuestos orgánicos semivolátiles; por lo tanto, la reacción sigue una cinética de primer orden. El Fe (III) cristalino se transforma en la forma amorfa y se reduce a Fe (II), los grupos funcionales de hidroquinona en el ácido húmico (HA) se transforman en quinonas y se promueve la formación de ligandos de HA hematita. En comparación con la mayoría de los estudios sobre el transporte de electrones de ácido húmico, la transformación de quinona en HA en hidroquinona no pudo observarse en el presente biosistema. Según evaluaciones de columna, más del 93% de la demanda química de oxígeno podría eliminarse microbianamente en condiciones de flujo, cuando el tiempo de retención hidráulica era de 45 h. Reduciendo el 93% el Fe.

(Dan, y otros, 2017), en su estudio demostró cómo lograr la eliminación de metales pesados de lixiviados de vertederos sintéticos en lechos filtrantes con vegetación acuática. Los humedales construidos por flujo vertical (CWs) rellenos con suelo margoso y piedra pómez estaban sin plantar o plantados con caña común (*Phragmites australis*) (Reed-CW) o junco común (*Juncus effusus*) (Rush-CW). El

lixiviado sintético contenía acetato, propionato, humato, amonio y metales pesados. Los CWs redujeron el volumen del lixiviado por evapotranspiración y eliminaron la materia orgánica fácilmente degradable, el color y el amonio. Se observó que los CWs lograron reducir metales como Zn, Cr, Ni, Cd, Fe y Pb, siendo deficiente este proceso para disminuir Mn del lixiviado. Las cantidades de eliminación de metales en los CWs fueron bajas para lixiviados de alta resistencia o bajo un tiempo de retención corto. El Rush-CW mostró cantidades de eliminación inferiores para Cr, Ni, Mn y Cd, aunque sí mostró cantidades de eliminación de Mn inferiores a las del CWs no plantado. Pero, el Cd, el Cr, el Pb, Ni y Zn se acumularon en la capa superior del suelo en el CWs plantado por rizofiltración con adsorción en comparación con el CWs no plantado, indicando que las plantas emergentes serían útiles para disminuir la profundidad del suelo de dragado para suprimir metales pesados. La *C. glomerata* eliminó el Cr un 66.6%.

(Remmas, Roukouni, & Ntougias, 2017), realizaron un estudio en el que adoptaron técnicas de cultivo, secuenciación de próxima generación y análisis de ácidos grasos fosfolípidos para descifrar la diversidad y las propiedades ecofisiológicas del microbiota dominante en el lixiviado de vertedero envejecido. Según la secuenciación de Illumina, las bacterias aisladas dominaron el lixiviado envejecido del vertedero. El principal taxón identificado a nivel de género eran *Pusillimonas* como bacterias y *Leucobacter* (41,46 % del total de lecturas), siendo todas ellas aisladas también por cultivo. La presencia de bacterias similares a las *Pusillimonas* también se verificó mediante la detección de ácidos grasos ciclo 17:0 e iso-19:0 en el microbiota de lixiviados de vertederos envejecidos. A pesar de que casi todos los aislados bacterianos exhibieron capacidad lipolítica extracelular, no se observó una especificidad particular en el tipo de sustrato utilizado. La prevalencia de degradadores eficaces, como las bacterias similares a las *Pusillimonas*, hace que el lixiviado envejecido del vertedero sea una fuente ideal para el aislamiento de microorganismos.

La biosorción es un método que consiste en aplicar una serie de pasos organizados y sistematizados enfocados en la eliminación de metales pesados que se encuentra presentes en lixiviados provenientes de vertederos (Shamin, 2018, pág. 2), para esto se emplean diversos tipos de biosorbentes que previamente han sido objeto

de estudio y que serán utilizados para adsorber sustancias contaminantes con el objeto de reducir los daños que estos pueden causar al hombre y al medio ambiente (Utomo, y otros, 2016).

En ese sentido, la biosorción es uno de los procesos más apropiados para ser aplicados en la reducción de los elementos tóxicos, por tanto, es importante realizar procedimientos adecuados que garanticen un tratamiento acelerado evitando resultados indeseados (Utomo, y otros, 2016). De esta manera, el método más preciso es la biosorción, pues además de poder ser aplicado en cantidades significativas, el proceso tiene resultados de forma instantánea y los costos generados son reducidos en comparación con otros métodos (Shamin, 2018)

En efecto, el ecosistema se ve afectado por el alto grado de contaminación que actualmente existe; sin embargo, los lixiviados provenientes de los vertederos son un gran problema para el ambiente, debido a la gran concentración de metales que en ellos se encuentran (Shamin, 2018). Por ello, se hace necesario implementar mecanismos que ayuden a reducir o eliminar estos metales para así evitar que los mismos se concentren en los organismos y alteren los procesos fisiológicos y metabólicos (Kinoshita, 2019, pág. 147). Así mismo la utilización de los diferentes tipos de biosorbentes, son métodos alternativos, efectivos, seguros y sobre todo tiene bajo costo para su aplicación (Okoli, Shilowa, Anyanwu, & Modise, 2018, pág. 648).

Existe una gran variedad de especies biológicas, como las bacterias, las algas, las levaduras, los hongos, entre otros, que han sido objeto de investigaciones con el fin de determinar si sus interacciones con metales pesados pueden servir como biosorbentes (Okoli, Shilowa, Anyanwu, & Modise, 2018). Los biosorbentes, poseen carboxilo, imidazol, sulfato, amino, fosfato, tioéter, fenol, carbonilo, amino e hidroxilo, elementos que contribuyen con este proceso (Rainbow, 2018, pág. 85). Así mismo, en la eliminación de metales pueden emplearse células vivas que contribuyan con este proceso, pero además puede también trabajar sobre el intercambio iónico para lograr la transformación progresiva de los lixiviados y reducir los efectos contaminantes (Ordóñez & Alejandra, 2017, pág. 21).

Hay diversas clasificaciones de los biosorbentes, por ello, se pueden categorizar en dos clases, los primeros se adquieren por razón de la propia naturaleza y los

segundos, son producto de residuos que proceden de la actividad industrial (Ordóñez & Alejandra, 2017). Sin embargo, este autor lo clasifica según sus características y particularidades, por lo que los divide en: lodos activados, bacterias, residuos y materiales ricos en taninos, lignina, quitosán, algas, turba (carbón), hongos y levaduras (Dan, y otros, 2017).

Las bacterias son microorganismos de tamaño muy pequeño. Estas son utilizadas como un mecanismo capaz de remover metales pesados de los lixiviados producto de residuos sólidos (Dan, y otros, 2017). Un estudio realizado utilizando *Bacillus sp.*, *Lysinibacillus sp.* y *Rhodococcus sp.*, sobre suelos contaminados por lixiviados demostró que estas bacterias tienen un alto potencial de adsorción de metales pesados (Ma, y otros, 2021).

El empleo de taninos como un método para reducir la presencia de metales pesados en los lixiviados, es uno de los mecanismos que han aportados soluciones efectivas, por lo que han logrados reducir en gran medida los efectos contaminantes (Bacelo, Santos, & Botelho, 2016, pág. 576). Así mismo, señala este autor, que los taninos son capaces de absorber gran cantidad de metales y otros elementos que perjudican el ecosistema; siendo un proceso que no necesita una gran inversión (Velkova Z. , y otros, 2018, pág. 879). De igual manera, otros estudios han logrado demostrar que el uso de taninos (plantas invasoras), utilizadas para la biosorción de metales pesados han comprobado su eficiencia al lograr un gran porcentaje de adsorción de estos compuestos (Okoli, Shilowa, Anyanwu, & Modise, 2018, pág. 648).

La lignina, es un polímero orgánico, de las plantas que se encuentran ubicados en su pared celular, es utilizada como biosorbente, debido a que numerosos estudios han comprobados que este componente puede ser extraído y empleado para absorber elementos contaminantes en soluciones acuosas (Bortoluz, Cemin, Bonetto, Ferrarini, & Esteves, 2019). En este sentido, la lignina ha sido utilizada para la adsorción de diversos elementos que producen efectos negativos al medio ambiente (Dan, y otros, 2017), por lo que numerosos estudios han podido verificar que utilizar la lignina para eliminar estas sustancias que perjudican la salud y el ambiente, genera una solución pronta, económica y eficaz (Wawrzkiwicz, Bartczak, & Jesionowski, 2017, pág. 756).

El quitosán es un biopolímero natural, que se encuentra en el exoesqueleto de cangrejos, langostas, gambas; de igual forma pueden encontrarse en las paredes celulares de hongos y algunas plantas (Salih, Mohammed, Abdullah, Kadhom, & Ghosh, 2020, pág. 354). Este elemento fue utilizado para reducir los metales pesados, logrando comprobar que el quitosano, tiene una alta capacidad para la adsorción de sustancias contaminantes, en soluciones acuosas (Wawrzkievicz, Bartczak, & Jesionowski, 2017, pág. 754). Es importante mencionar que, otros estudios donde se empleó el quitosán como principal elemento y pequeños componentes de magnetita como refuerzo, demostró que es un elemento con potencial para adsorber metales pesados, ideal para el tratamiento de lixiviados (Mueda, Almandoz, & Santillán, 2019, pág. 464).

Las algas son capaces de realizar la fotosíntesis y lograr conseguir carbono orgánico con tan solo la energía solar (Yin, Show, Fye, Chang, & Chuan, 2019, pág. 1256). Por lo que, han sido estudiadas con el fin de determinar si estas pueden ser utilizadas en procedimientos de adsorción de metales pesados (Al-Homaidan, Al-Qahtani, Al-Ghanayem, Ameen, & Ibraheem, 2018, pág. 1734). Muchas investigaciones han aportado resultados que concluyen que las algas poseen componentes biosorbentes como solución efectiva a los problemas medioambientales presentes en la actualidad (Pathirana, y otros, 2019, pág. 489). Así mismo, se determinó, que el empleo de algas verdes como biosorbente para eliminar los metales pesados de las aguas contaminadas, es una de las soluciones más efectivas que se pueden manejar para reducir la contaminación de los lixiviados (Homaidan, Al-Qahtani, Al-Ghanayem, Ameen, & Ibraheem, 2018, pág. 1734).

La turba es un componente que se forma por la descomposición de la vegetación, está compuesta por una rica cantidad de carbono y su función principal es la de almacenamiento y purificación del agua (Lennartz & Liu, 2019, pág. 6). Así mismo, este elemento sirve para proteger el medio ambiente, debido a que establecen una conexión los suelos minerales con los ecosistemas acuáticos (Homaidan, Al-Qahtani, Al-Ghanayem, Ameen, & Ibraheem, 2018, pág. 1735). En este sentido, en los procedimientos donde se aplicó la turba como biosorbente para tratar aguas contaminadas, se observó que está tiene una capacidad enorme para el tratamiento

de lixiviados que provienen de los vertederos (Gogoi, Leiviskä, Rämö, & Tanskanen, 2019, pág. 323).

Los hongos habitan en lugares húmedos, pues es indispensable para su reproducción, de igual manera se ubican en ramas, tallos de plantas, requieren de materia orgánica en descomposición, pues estos almacenan muchos nutrientes del suelo (Sriharsha, Lokesh, & Savitha, 2017, pág. 589). Además, los hongos han sido una solución efectiva para eliminar metales pesados, puesto que al ponerse en contacto solucionan los problemas presentados en los vertederos para reducir los metales contaminantes de los lixiviados (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019, pág. 18). Estudios realizados con *Penicillium chrysogenum* y *Aspergillus ustus*, han comprobado que estos tienen un gran potencial en cuanto a la adsorción de metales pesados (Allothman, y otros, 2020, pág. 1766).

Las levaduras, viven sobre las plantas, en el suelo, frutos, en varias investigaciones hechas sobre muestras de lixiviados se emplea impregnada de gelatina para verificar su eficacia en la adsorción de materiales tóxicos (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019, pág. 18). Esto ha demostrado que la levadura es un biosorbente exitoso para reducir metales pesados en sustancias acuosas por lo que pueden usarse para reducir los efectos contaminantes en los lixiviados (Mahmoud, 2015, pág. 266).

Los metales pesados, por lo general son sustancias tóxicas que en proporciones considerables causan efectos perjudiciales para la salud y vida de muchos seres vivos (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019, pág. 20). Los lixiviados poseen gran cantidad de estos metales tóxicos, que se hacen presentes en ellos por la descomposición de residuos sólidos (Azizi, Choy, Noor, & Noorlidah, 2015). La acumulación de metales pesados persiste en los vertederos de desechos a un nivel ambientalmente peligroso (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019, pág. 20). Esto resulta en serios problemas ambientales y de salud debido a los efectos venenosos de estos metales en las plantas y las posibles implicaciones para la salud de los seres vivos que consumen tales vegetales (Ishchenko, 2018, pág. 1892). Los desechos pueden aumentar la concentración de metales pesados lo que puede tener consecuencias sobre los suelos, los cultivos y la salud humana (Imron, Kurniawan, & Abdullah, 2021, pág. 4).

Los daños al medio ambiente con respecto a los metales pesados provienen de diversas fuentes que pueden agruparse en urbano-industriales, aerosoles, desechos líquidos; y sólidos de origen animal y humano, industrias mineras y agroquímicos (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019, pág. 20). Los metales pesados están presentes principalmente en los desechos electrónicos, especialmente el cobre de los alambres, el cromo, el níquel, el zinc, el cadmio y el plomo, incluidos otros metales y elementos que son raros en la tierra (Ishchenko, 2018, pág. 1892). Las altas emisiones al aire o las fugas de líquidos dan como resultado cantidades significativas de metales que se concentran en los vertederos (Flores & Marulanda, 2020, pág. 51). Además, estos compuestos son bioacumulativos, lo que quiere decir que naturalmente no se eliminan, sino que por el contrario van concentrando sustancias químicas que cada día van a ser más perjudiciales (Ishchenko, 2018, pág. 1892). Es por esta razón que se han ido planteando la manera de eliminar mediante biosorbentes estos elementos, debido a que su concentración puede causar graves problemas al medio ambiente (Ishchenko, 2018).

Igualmente, se han realizado investigaciones que ayudan a determinar qué cantidad de metales pesados se pueden hallar en los lixiviados, es así, que se realiza una medición de los metales encontrados y los parámetros fisicoquímicos (Flores & Marulanda, 2020). De estos estudios se ha podido observar, que esos líquidos que emanan de los desechos sólidos urbanos están compuestos por concentraciones elevadas de metales tóxicos (Azizi, Choy, Noor, & Noorlidah, 2015). Además, se ha determinado que no todos se encuentran en cantidades iguales, sino que varían sus concentraciones, según los factores y tiempo (Ishchenko, 2018). Depende del tiempo de vida que tengan estos lixiviados en los vertederos, la aplicación del biosorbente ideal y se elegirán métodos y procedimientos adecuados para tal fin (Ishchenko, 2018).

Es importante conocer, que los metales pesados de lixiviados, entre los que se menciona están el arsénico (As), cobre (Cu), el mercurio (Hg), el cromo (Cr) y el plomo (Pb), poseen un elevado riesgo para los seres vivos y el planeta (Ishchenko, 2018, pág. 1892), debido a esa gran cantidad de elementos contaminantes que se mezclan con el líquido que arrojan los desechos sólidos, se emanan sustancias

tóxicas que perjudican a los seres vivos (Chu, Fan, Wang, & Huang, 2019, pág. 120); por ello es necesario que se evalúen las diversas maneras de tratamiento, para así buscar mantener la existencia de las diferentes especies que habitan en nuestro planeta (Flores & Marulanda, 2020, pág. 51).

Algunos metales pesados como el cobre, son oligoelementos esenciales, que juega un rol importante en el transporte de electrones y oxígeno (Flores & Marulanda, 2020). Muchos metales pesados tienen una importancia tecnológica excepcional, por ejemplo, plomo, cobre, que al ser desechados se convierten en venenos ambientales (Mueda, Almandoz, & Santillán, 2019). Diferentes metales pesados actúan como el átomo central de catalizadores "bioinorgánicos" diseñados artificialmente para transformaciones químicas especiales (Imron, Kurniawan, & Abdullah, 2021). Por otro lado, muchos de ellos, por ejemplo, mercurio, arsénico, cromo, plomo, representan clásicamente el "lado oscuro de la química"; ya ejercen efectos tóxicos a baja concentración (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019). En este contexto, algunos metales pesados han ganado una dudosa popularidad por ser los materiales con los que se pueden fabricar los principales delitos (Verma, Kumar, Singh, Katti, & Shah, 2021).

La fuente de los lixiviados es una sustancia líquida que emana de los materiales que son desechados por el hombre, de los residuos sólidos (Susunaga & Estévez, 2018). Este líquido se forma por la humedad que puede provenir de aguas de lluvia producto de precipitaciones que caen sobre los vertederos (Ishchenko, 2018); así mismo, puede generarse por aguas subterráneas y que se filtran por los desechos sólidos, por degradación de los residuos orgánicos, pero además pueden producirse por interacción de la actividad industrial que realiza el hombre (Flores & Marulanda, 2020). De igual manera, este autor señala, que los metales pesados en este líquido son factores determinantes para dañar los seres vivos y el medio ambiente (Rainbow, 2018).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Tipo de Investigación

Según los propósitos es una investigación aplicada, caracterizándose por enfocarse en la búsqueda y reafirmación del conocimiento para ser aplicado, con el propósito de enriquecer el desarrollo (Tamayo, 2017, pág. 161). Esto quiere decir, que la investigación aplicada persigue generar conocimiento aplicando directamente los problemas que presenta la sociedad, el ambiente o el sector productivo (Pimenta & De la orden, 2017, pág. 9). Por tanto, se considera aplicada con el objetivo de buscar la literatura que fundamenta los conocimientos con el fin de buscar para dar soluciones a un problema, llenar un vacío de conocimiento de información, en lo cual algún individuo, pueda tomar esa información para solucionar ese problema (Arias, 2017, pág. 32) sobre los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero.

Diseño de Investigación

En relación al diseño la investigación es narrativo de tópicos, sabiendo que se pretende recopilar los datos basándose principalmente en las particularidades de la categoría en específico, fundamentándose principalmente en narrativas escritas (Hernandez & Mendoza, 2018, pág. 523). Principalmente este tipo de investigación se fundamenta en narrativas realizadas individualmente por el autor, que son registradas para integrar una narrativa general (Pimenta & De la orden, 2017, pág. 25). El tratamiento del tema será de diseño narrativo de tópicos, puesto que sólo se procurará una revisión sistemática de diferentes autores que consiste en agrupar temas de conocimiento en áreas de interés, ya que no se modifican variables, sino se orienta en una en una temática por quienes realizaron las experimentaron (Alan & Cortez, 2018, pág. 55) sobre los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero.

3.2. Categorías y Matriz de categorización

Tabla 1. Matriz de categorización

Objetivo Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Identificar los tipos más utilizados de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero	¿Cuáles son los tipos más utilizados de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero?	Tipos de Biosorbentes	Lodos activados (Zafra & Romero, 2019)	De acuerdo con su origen de biosorbente utilizada	De acuerdo con los tipos de biosorción para la extracción del metal pesado
			Algas verdes (Iqbal, Javed, & Baig, 2021) (Yin, Show, Fye, Chang, & Chuan, 2019)		
			Bacterias (Ma, y otros, 2021)		
			Residuos de café (Flores & Marulanda, 2020)		
			Hongos (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019) (Sriharsha, Lokesh, & Savitha, 2017)		
Establecer los metales pesados en lixiviados más comunes	¿Cuáles son los metales pesados más comunes en lixiviados en un vertedero?	Tipos de metales pesados	Mercurio (Imron, Kurniawan, & Abdullah, 2021)	De acuerdo con la presencia simultánea de metales pesados	De acuerdo con la retención de concentración del metal
			Plomo (Mueda, Almandoz, & Santillán, 2019)		
			Cromo (Verma, Kumar, Singh, Katti, & Shah, 2021)		
			Cobre (Carvajal & Marulanda, 2020) (El Mrabet, y otros, 2020)		
			Arsénico (Hassan, Pariatamby, Ahmed, Shnada, & Shahul, 2019)		
Establecer la importancia de los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero	¿Cuál es la importancia que tienen los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero?	Importancia del Biosorbente	Eliminación de metales pesados (Qin, Hu, Zhai, Lu, & Aliyeva, 2020)	De acuerdo con la efectividad según la revisión del biosorbente de metal pesado	De acuerdo al biosorbente seleccionado
			Conocer la eficiencia del tratamiento. (Kwarciak & Fijałkowski, 2021)		

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio tiene como literatura de toda la investigación hallada a nivel mundial, específicamente los artículos científicos sobre los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en vertederos, estos estudios se dieron de forma descriptiva y experimental, lo cual mediante la comparación, nos muestra el tipo de biosorbente más eficiente y a bajo costo, lo cual son elaborados en laboratorios donde se tomó en cuenta el tipo de metales pesados y su composición, esto se realiza con el objetivo de eliminarlos en los lixiviados. Hallando el tipo de biosorbente más eficiente que los otros.

3.4. Participantes

Los participantes que se hallaron en esta investigación se buscaron en repositorios digitales, tales como: Scopus, ScienceDirect, SpringerLink. La mayor información que se obtuvieron, fueron de los repositorios digitales: ScienceDirect, SpringerLink, donde se extrajeron artículos científicos y la menor cantidad de información es el repositorio de Scopus. Sobre los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero, los cuales fueron seleccionados con los siguientes criterios de exclusión e inclusión.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para recopilar la data necesaria se usan diferentes maneras acerca de cómo se puede recoger (Arias, 2017, pág. 33). En este estudio se utilizará la técnica del análisis documental o de contenido, por medio de la cual se da el procesamiento de analítico sintético que da la descripción de las fuentes bibliográficas, que tiene como propósito describir los documentos de manera unificada sistemáticamente y intelectuales que facilitan la recopilación (Escudero & Cortez, 2018, pág. 42).

Los instrumentos son maneras tangibles establecidas por el investigador para recoger y resguardar datos (Arias, 2017, pág. 23). El instrumento manipulado en esta investigación ha sido la ficha de registro documental, el cual es un instrumento usado para registrar los datos obtenidos, ordenando toda la información hallada en las fuentes examinadas en este estudio (Alan & Cortez, 2018, pág. 57), dirigida a representar, identificar y describir el contenido de los documentos de modo diferente al original, mediante resúmenes y comentarios empleando la observación de la problemática generada en torno a los tipos de biosorbentes de metales pesados de

lixiviados en un vertedero, precisado según el examen que se plantea hallar, para el planteamiento de soluciones (Escudero & Cortez, 2018, pág. 43). ANEXO 1

3.6. Procedimientos

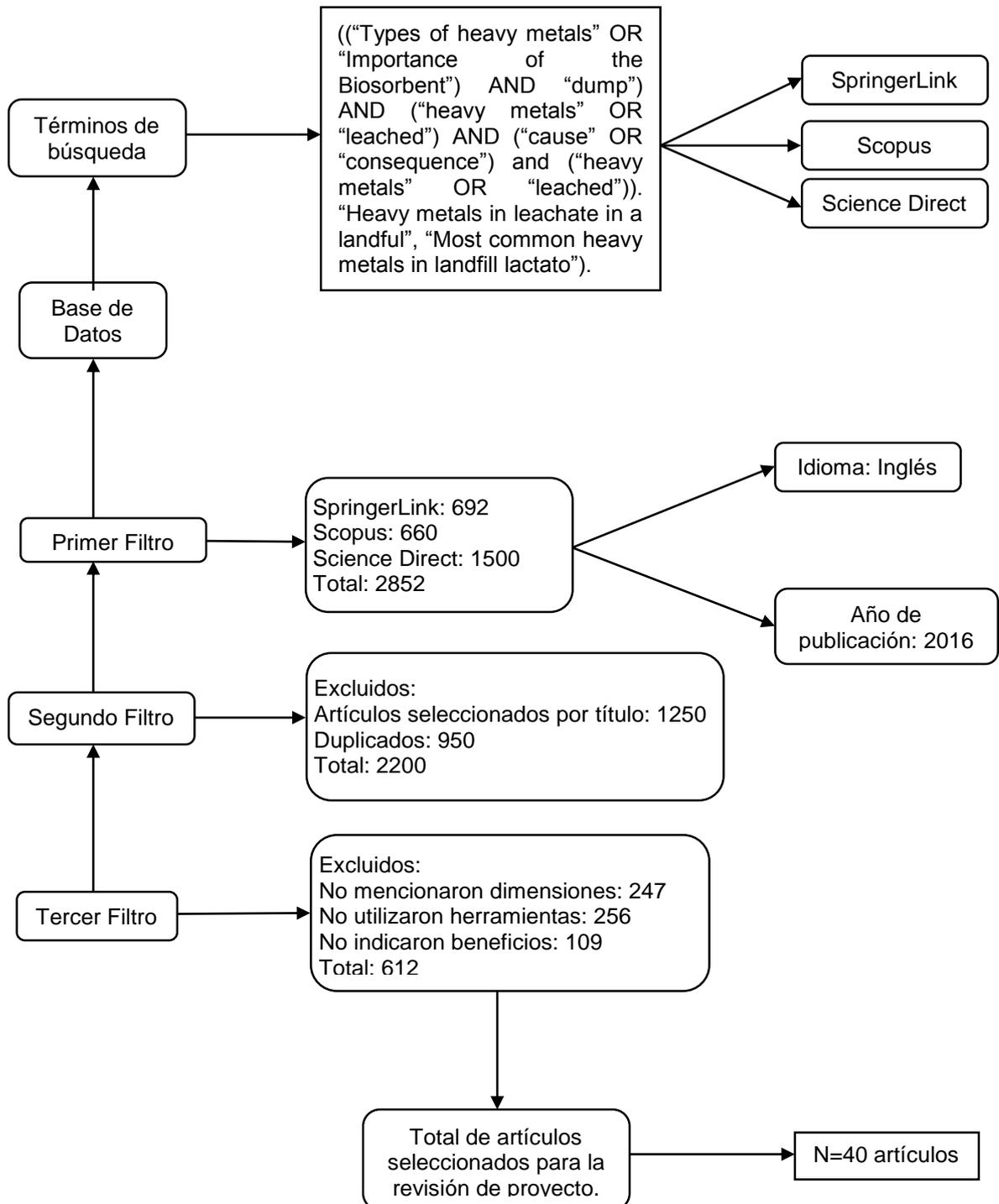


Figura 1. Flujograma de procedimientos

En el procedimiento de recolección de información se empleó la palabra clave "types of heavy metals" and importance of the biosorbent, donde se utilizó varias fuentes

documentales y se revisaron artículos de investigación en inglés y español. También cabe mencionar, que se utilizó las herramientas de exclusión o inclusión de artículos científicos, para ello primero se utilizaron las palabras "heavy metals", "leached", "heavy metals in sanitary filling"). Excluyendo aquellos que no estaban comprendidos entre los años 2015 y 2022. Para simplificar el trabajo de búsqueda se diseñaron protocolos de combinaciones de términos establecidos y operadores. Es por ello que se tomó en cuenta el uso correcto de aplicar el método de inclusión y exclusión de los artículos científicos, se utilizó los siguientes criterios: "Año de antigüedad", "tipo de artículo", "áreas temáticas" y "títulos similares". El procedimiento se hizo utilizando palabras claves para la búsqueda de artículos en inglés. Excluyendo aquellos que sobrepasaron el límite de 5 años de antigüedad. Por lo cual, se tomaron en cuenta mayormente los experimentales para hacer una correcta comparación de la efectividad de cada tipo de biosorbentes.

3.7. Rigor científico

El rigor científico de esta investigación es de tipo cualitativa y contará con validez y confiabilidad de acuerdo a lo esbozado por los artículos científicos consultados, seleccionados de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión aplicados (Guillen, Cerna, Gondo, Suárez, & Martínez, 2019, pág. 155), incluyendo especialmente lo referente a los tipos de biosorbentes, metales pesados y lixiviados.

Las consistencias lógicas de la investigación tengan implicación de la recopilación de la información y que sea del mismo tema que se viene realizando, para que de esta forma el análisis sobre las categorías de estudio, con el propósito de alcanzar resultados parecidos, en este caso los tipos de biosorbentes, metales pesados y su importancia (Noreña, Alcaraz, Guillermo, & Malpica, 2012, pág. 265).

Por lo cual, bajo este criterio se comprendió información relacionada de los diferentes sobre los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en vertederos.

La credibilidad implica la fiabilidad y autenticidad de este trabajo de investigación, ya que consiste en una relación de los descubrimientos con la realidad teniendo una alta coherencia, consistiendo así con una fiabilidad mediante la manipulación de los artículos seleccionados (Pimenta & De la orden, 2017, pág. 25).

En este sentido, la presente información científica se utilizó fuentes confiables como revistas indexadas con relación Scopus, SpringerLink y ScienceDirect, obteniendo

así diferentes documentos de confiabilidad, con alto nivel de creatividad, en lo cual son documentos verídicos y respaldados.

La transferencia consiste en una probabilidad de sintetizar los estudios realizados de otras investigaciones que tengan otro enfoque mediante los artículos analizados de un solo estudio sistematizado de acuerdo al enfoque presentado, por ellos esto se da gracias a la examinación del método, tiempo, recolección de datos, muestra en el trabajo científico, conjuntamente con los autores y se busca enlazar la similitud con otros estudios (Pimenta & De la orden, 2017).

Por ello, en este sentido se llegó a acumular los productos científicos en los criterios que usan en las técnicas de los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en vertederos que provienen y así tener una comparación entre ellos con una respectiva información correcta.

La confirmación se basa en el principio en lo cual implica la veracidad y credibilidad de los resultados de la investigación alcanzados, puesto que con estos se muestra la certeza al decidir el método, la ética y moral de las investigadoras (Noreña, Alcaraz, Guillermo, & Malpica, 2012).

Mediante este principio, esta investigación científica de los documentos en uso mediante los autores confiabilicen, garanticen la acreditación mediante sus publicaciones de sus artículos científicos, como también las revistas internacionales con respecto a los diferentes efluentes de los lixiviados de los vertederos.

3.8. Métodos de análisis de datos

El método de análisis se basará en la interpretación del contenido a nivel textual de los documentos, adaptándolo a una serie de segmentos preestablecidos y guiado por los principios (Pimenta & De la orden, 2017). Se enfoca en reconstruir el propósito desde una postura analítica y tomando el texto como fuente relevante, cuidando en todo momento que el análisis del cuerpo o base no se puede desligar de la forma (Guillen, Cerna, Gondo, Suárez, & Martínez, 2019, pág. 155).

Debido a que hay ausencia de comprobación de hipótesis por el enfoque dado a la investigación, se desarrollará de acuerdo a la ecuación planteada para este tipo investigación (cualitativa); por lo que se realiza la selección de categorías y subcategorías al momento de interpretar científicamente los datos que mejor se

adecuen a los estándares establecidos de investigación (Categorización) siendo la más utilizada, ubicándose en un nivel aplicado (Hernandez & Mendoza, 2018). Una vez realizado esto se procede a interpretar y procesar cada categoría y subcategoría remitiendo el nivel referencial, describiendo las categorías, consideradas relevantes en comparación al campo semántico reconocido por los objetivos del propósito científico, por tanto, se ajusta a su eventual interpretación y contrastación con el resultado del contexto a nivel global (Escudero & Cortez, 2018). Esta categorización está sujeta continuamente a revisión y de ella depende la interpretación de los resultados:

$$T= C1, C2, C3, C4, C5$$

Dónde:

T= Tema de análisis

C1: Categoría biosorbentes

C2: Categoría metales pesados

C3: Subcategoría tipos de biosorbentes

C4: Subcategoría tipos de metales pesados

C5: Subcategoría importancia de los biosorbentes

Por tanto, se logra el objetivo de la investigación recopilando y analizando toda la información lograda en referencia a las categorías en estudio (Escudero & Cortez, 2018).

3.9. Aspectos éticos

Para la elaboración de este trabajo se reflexionaron las sucesivas nociones bioéticas: Respeto a la dignidad humana, bienestar, autonomía, equidad, veracidad porque no se falsearon los resultados, confidencialidad, puesto que la información se protegerá particularmente, por tanto, los resultados obtenidos están dirigidos exclusivamente para uso académico, garantizando con ello la discreción de los mismos. Así mismo, tal como lo pide la Resolución de consejo universitario N° 0262-2020/UCV promulgado el 28 de agosto del 2020. Además, se respeta la autoría de los artículos científicos usados para el correcto citado, usando el lineamiento de la norma internacional de Estandarización ISO 690:2010.

IV. RESULTADOS

En esta parte se procederá a presentar los resultados del análisis e interpretación de las categorías investigadas de acuerdo a los estudios de los autores que conformaron la muestra. En un primer lugar, se procedió a analizar cada categoría describiéndolas exhaustivamente, en segundo lugar, se identificó la relación entre las categorías, con el propósito de enunciar los hallazgos. Se debe aclarar que actualmente hay pocas investigaciones que estudien las tres categorías relacionándolas entre ellas.

Identificar los tipos de biosorbentes de metales pesados más utilizados en lixiviados en un vertedero, al revisar la literatura se observó que la eficiencia de la tecnología de biosorción dependen de la eficacia de los biosorbentes, su fácil disponibilidad y la rentabilidad de todo el proceso facilitan la propagación de su uso. Así en la tabla 2 se desarrollan los tipos de biosorbentes más utilizados:

Tabla 2. Tipos de biosorbentes más utilizados

Biosorbente	Autor	Efectividad por estudio
Bacterias	(Liu, Bilal, Duan, & Iqbal, 2019)	80%
	(Abba, Yahaya, Ahmad, Ramírez, & Yusuf, 2020)	75%
	(Bibi, manzoor, Azhar, Saeed, & Raheem, 2019)	95%
	(Covarrubias & Cabriales, 2017)	88%
	(Moreno, Peña, & Benítez, 2019)	68%
	(Rojas & Galván, 2018)	78%
	(Kumar, Nayak, & Agarwal, 2016)	99%
	(Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016)	95%
Hongos	(Tuomela & Hatakka, 2019)	88%
	(Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016)	95%
Algas	(Saavedra, Madera, Peña, Cerón, & Mosquera, 2018)	98%
	(Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019)	88%
	(Lieswito, Rinanti, & Fachrul, 2019)	79%
Plantas	(Alcázar, Núñez, Villanueva, Antileo, & Proal, 2020)	99%
	(Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng, 2020)	70%
	(Sepúlveda, Tapia, Tapia, Milla, & Pavez, 2020)	80%
	(Rojas, Molano, Shanshan, & Yanqing, 2020)	88%
	(Inoue, y otros, 2017)	85%

	(Singh, y otros, 2020)	65%
	(Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016)	100%
	(Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020)	65% - 80%
Desechos Industriales y agrícolas	(Inoue, y otros, 2017)	85%
	(Singh, y otros, 2020)	65%
	(Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016)	100%
	(Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020)	65% - 80%
Biorreactores (Lodo humidificado)	(Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya, 2017)	98%
	(Porras, Contreras, & Ortega, 2018)	97%
	(Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020)	98%
	(Bautista, y otros, 2018)	80%
	(Páez, Del Socorro Bravo, Peinado, & Flores, 2016)	75%
	(Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019)	50%
Proceso Fenton	(Medina, Montero, & Cruz, 2016)	42%

De acuerdo con los artículos revisados, se deduce que la facilidad de disponer de fuentes biológicas para llevar a cabo la biosorción de suelos permite el acceso a estos procedimientos. En otras palabras y con fundamento en (Cota, Nuñez, Delgado, & Martínez, 2019) microorganismos como algas, hongos, hierbas, bacterias, levaduras y productos de desecho agrícolas, junto con su procesamiento rentable para obtener biosorbentes, ha dado lugar a la creación de una tecnología de biosorción madura y ampliamente extendida a efectos de descontaminar suelos y aguas. Es así como diversos autores destacan el uso de estas técnicas al momento de neutralizar los metales pesados y la capacidad de biosorción de la biomasa seleccionada hacia tintes y iones metálicos (Abdelkareem, Alwarded, Al-Musawi, & Brouers, 2019) (Covarrubias & Cabriales, 2017) (Abba, Yahaya, Ahmad, Ramírez, & Yusuf, 2020).

El mecanismo de biosorción puede variar de acuerdo al requerimiento y estado del suelo, en consecuencia, los mecanismos incluyen adsorción física, intercambio iónico, complejación, precipitación y transporte a través de las células (Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao, 2019). La eficiencia de eliminación de metales pesados por un biosorbente específico en condiciones específicas puede compararse mediante la capacidad de biosorción calculada del biosorbente respetado, tal como lo apoya (Medina, Montero, & Cruz, 2016) (Velkova Z. , y otros, 2018), (Sepúlveda, Tapia,

Tapia, Milla, & Pavez, 2020). Varios factores pueden influir en la capacidad de biosorción de diferentes biosorbentes, que incluye principalmente el pH del agua, la temperatura, el tiempo de contacto, la dosis de biomasa y la concentración inicial de metales pesados.

De acuerdo al análisis de los artículos seleccionados las cepas bacterianas exhiben una tremenda capacidad de eliminación de metales que es efectiva incluso ante concentraciones altas de algunos metales (Covarrubias & Cabriales, 2017). Con esto concuerdan los autores (Rojas & Galván, 2018) quienes plantean que según su estudio se registró una disminución en el porcentaje es el 78% de metales biosorbidos a medida que se incrementaba la concentración de metal con la generación simultánea de una fuerza impulsora para superar la resistencia a la transferencia de masa para el movimiento de iones metálicos entre la solución y la superficie del adsorbente. (Liu, Bilal, Duan, & Iqbal, 2019) Refieren que la biosorción bacteriana se utiliza fundamentalmente para la expulsión de toxinas de los suelos contaminados con sustancias no biodegradables, como las partículas metálicas y los colorantes, ya que es capaz de eliminar al 80% los metales pesados. (Moreno, Peña, & Benítez, 2019) No obstante, su confinamiento, tamizado y recogida en una escala mayor puede ser complicado, pero al mismo tiempo sigue siendo uno de los métodos para remediar las contaminaciones. Por lo cual, si se utilizan diversas cepas bacterianas para la evacuación de diversas partículas metálicas. Por ello, algunas bacterias pueden ingerir el "cianuro" más tóxico de suelos y/o agua contaminados.

La biosorción de hongos fúngicos es ampliamente utilizada para la eliminación de metales pesados porque principalmente demuestran rendimiento, pretratamiento, regeneración/reutilización, modelado de biosorción, potencial (Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016). Los hongos han sido percibidos como un material prometedor de adsorbentes de bajo costo para la expulsión de iones de metales pesados contenidos en los lixiviados. Ya que es capaz de eliminar un 88% los metales pesados (Tuomela & Hatakka, 2019).

Las algas son biosorbentes productivos y de bajo costo, ya que el requisito previo del suplemento por crecimiento verde es menor, se ha contabilizado que el crecimiento verde ingiere alrededor del 15-85%, que es más alto cuando se contrasta con otros biosorbentes microbianos siendo capaz de eliminar los metales pesados un 88%

(Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019). En todos los tipos de crecimiento verde, el de color oscuro es conocido por tener un alto límite de ingestión. La biosorción de partículas metálicas se produce en la superficie de la célula por métodos de la técnica de intercambio de iones. Las algas marinas de color oscuro tienen la capacidad de ingerir metales como el níquel, el plomo y el cadmio a través de racimos de sustancias en su superficie, por lo cual cuenta con la capacidad de eliminar un 79% los metales (Lieswito, Rinanti, & Fachrul, 2019). Las algas *Cyanophyceae* y *Bacillariophyceae* muestran gran eficiencia de remoción, pero esta cambia sustancialmente dependiendo del tipo de metal biosorbido, en lugar del tipo de biomasa de algas, llegando a eliminar el 98% (Saavedra, Madera, Peña, Cerón, & Mosquera, 2018).

Las algas marinas se proponen como uno de los biosorbentes más prometedores; ya que llega a eliminar un 88% de metales pesados, debido a su alta capacidad de biosorción, bajo costo, disponibilidad y renovabilidad (Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019). Así mismo, (Saavedra, Madera, Peña, Cerón, & Mosquera, 2018) indica que llega hasta eliminar un 98% de los metales pesados que se encuentran en los lixiviados de un vertedero. Por ello, quien mantiene la alta afinidad de unión que poseen los metales con las algas es la presencia de polisacáridos, proteínas o lípidos en la superficie de su pared celular. (Lieswito, Rinanti, & Fachrul, 2019).

Las plantas son capaces de absorber hasta un 99% los sitios contaminados por metales ya que están adaptadas para prosperar en condiciones ambientales muy duros (Alcázar, Núñez, Villanueva, Antileo, & Proal, 2020). Por otra parte, (Amabilis, Siebe, Moeller, & Durán, 2016) al descontaminar los suelos realizan un proceso en el que absorben el contaminante de las partículas o del líquido del suelo en sus raíces; fijan el contaminante en su tejido radicular, física o químicamente; transportan el contaminante desde sus raíces a los brotes en crecimiento e impiden la lixiviación del contaminante fuera del suelo a un 99%. (Castebianco, 2018), (Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng, 2020). Así mismo, los tipos de plantas que crecen en la zona contaminada influyen en la cantidad, la diversidad y la actividad de las poblaciones microbianas (Sepúlveda, Tapia, Tapia, Milla, & Pavez, 2020). Este criterio es ratificado por (Rojas, Molano, Shanshan, & Yanqing, 2020) quien señala que esta técnica se aplica en suelos y aguas ligeramente contaminados donde el material

a tratar se encuentra a poca o media profundidad y el área a tratar es grande que solo llega a eliminar el 88% de metales pesados.

Los desechos industriales y/o agrícolas son capaces de absorber hasta un 98% de metales, porque se realiza a través de un compostaje elaborado con residuos de procesos agrícolas o industriales como subproductos, ya sea el salvado de arroz, la cáscara de arroz, el bagazo de caña de azúcar, el trigo, los residuos orgánicos como plantas o frutas, las malas hierbas (Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya, 2017), (Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020). El compostaje es aeróbico y termófilo, lo cual lo convierte en rico en microorganismos, lo cual ayuda a absorber un 97% los metales (Porrás, Contreras, & Ortega, 2018).

Se trata de un proceso biológico que consiste en utilizar columnas empaquetadas de serrín, lignina, residuos de zumo de naranja y manzana mediante el cual los metales pesados son mezclados absorbiéndolos al 85% (Inoue, y otros, 2017). Los suelos se excavan y se mezclan con agentes de carga y enmiendas para general la descomposición de estos residuos. Por lo tanto, la biosorción se convertirá en un método de eliminar al 65% los metales (Singh, y otros, 2020). Por otra parte, los desechos industriales y orgánicos se componen principalmente de materia prima que incluyen sustancias inorgánicas y/o residuos agrícolas que llegan a eliminar al 100% los metales pesados por su alta concentración de nutrientes (Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016). Es por ello, que la descomposición e integración de estos desechos con la composición de los suelos minimiza los efectos contaminantes de los metales pesados y optimiza las condiciones de los mismos de un 65% a 80% (Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020).

Los humedales artificiales, tienen la capacidad de eliminar a un 98% porque aprovecha a su totalidad las bacterias generadoras de sulfuro de hidrogeno que para inmovilizar los metales y mejora de su pH del suelo (Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020) y (Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya, 2017). El tratamiento biológico en biorreactores ofrece los beneficios de la degradación bajo parámetros controlados con un sistema de monitoreo continuo degradando un 50% los metales pesados (Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019). Además, la biorremediación en reactores implica el procesamiento de material sólido contaminado o agua a través de un sistema de ingeniería (Porrás, Contreras, &

Ortega, 2018). El biorreactor de lodos es un aparato de recipiente de contención utilizado para crear una condición de mezcla trifásica (sólido, líquido y gas) para aumentar la biorremediación de los contaminantes ligados al suelo y solubles en agua, ya que el suelo contaminado y la biomasa es capaz de degradar los contaminantes del 75% al 80% (Páez, Del Socorro Bravo, Peinado, & Flores, 2016), (Bautista, y otros, 2018).

El proceso Fenton elimina el 42% de metales pesados que se hallan en los lixiviados, ya que se utiliza el Proceso de Oxidación Avanzada porque en tiempo de lluvia a recircular el agua por el bombeo es complicado (Medina, Montero, & Cruz, 2016).

Ante lo anterior se puede responder que los tipos de biosorbentes más utilizados son las bacterias, hongos, algas, plantas, desechos industriales y agrícolas y los biorreactores. Se deduce de lo anterior que los biosorbentes más utilizados y con mejor rango de eficiencia son las bacterias, por cuanto representan un porcentaje promedio de 85%, lo que arroja un alto porcentaje de resultados de biosorción y bajo costo. Igualmente, se establecen como ventajas de los biosorbentes que son más rentables, no son invasivos, son relativamente pasivos, tienen atenuación natural, tratan el suelo y el agua, poseen degradación rápida y mejoran la transferencia de masa. Entre las desventajas de los biosorbentes se encuentran: Limitaciones ambientales, tiempos de tratamiento prolongados, dificultades de control, necesidad de controlar la pérdida abiótica, y limitación de la biodisponibilidad en alguno de ellos.

Establecer los metales pesados más comunes en lixiviados en un vertedero, se puede señalar que al realizar la revisión sistemática de la literatura seleccionada se obtuvo la siguiente información presentada en la tabla 3, en la cual se hace un resumen de sus afirmaciones al respecto:

Tabla 3. Tipos de metales pesados

Biosorbente	Metales Pesados	Autor
Bacterias	Fe	(Liu, Bilal, Duan, & Iqbal, 2019)
	Cd, Pb	(Abba, Yahaya, Ahmad, Ramírez, & Yusuf, 2020)
	As, Cd, Cr, Fe, Mo, Ni, Pb	(Alghamdi, Aly, & Ibrahim, 2021)
	Hg, As, Pb, Cr	(Covarrubias & Cabrales, 2017)
	Cr	(Moreno, Peña, & Benítez, 2019)
Hongos	Pb, Cd, Cr, Ag, Ar	(Santana, y otros, 2020)
	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn	(Kumar, Nayak, & Agarwal, 2016)
Algas	Cd, Pb, Cu	(Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016)
	Cu, Pb	(Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019)
Plantas	Fe	(Lieswito, Rinanti, & Fachrul, 2019)
	Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, Mn, Cd	(Alcázar, Núñez, Villanueva, Antileo, & Proal, 2020)
	Hg	(Amabilis, Siebe, Moeller, & Durán, 2016)
	Pb, Cd	(Castebianco, 2018)
Desechos Industriales y agrícolas	Fe, Cu, Mn	(Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng, 2020)
	La, Y	(Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah, 2019)
	Cb	(Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao, 2019)
	Pb, Cr, Sb, As, Cu	(Inoue, y otros, 2017)
	Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn	(Díaz, Cervantes, Cervantes, & Torres, 2016)
Biorreactores (Lodo humidificado)	Cd, Cu, Zn, Ni, Cr	(Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016)
	As, Ni, Zn, Pb, Cr, Cu	(Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020)
	As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb	(Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya, 2017)
	No3, No2,	(Porras, Contreras, & Ortega, 2018)
	Cr - 6	(Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020)
	Cd, Ni, Cr, Pb, Zn	(Bautista, y otros, 2018)

	Ni, Cu, Zn, Cd	(Páez, Del Socorro Bravo, Peinado, & Flores, 2016)
	Cu, Cr, Ni, Pb, Zn,	(Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019)
	Cr, Cu, Fe, Pb	(Incahuanaco, Montalván, & Dávila, 2021)
	Zn, As, Cr, Cd, Hg, Cu, Ni, Pb	(Yu, y otros, 2020)
Proceso Fenton	Fe	(Medina, Montero, & Cruz, 2016)
Celda de membrana SEPA II	Pb, Cd	(Vera, y otros, 2016)

De esta forma, se plantearon los distintos metales trabajados por los autores investigados en este estudio. Es importante destacar que para todos ellos es preocupante la naturaleza toxica de estos metales contenidos dentro de los lixiviados y el proceso degenerativo que tienen en el organismo de todos los seres vivos, especialmente los humanos. Igualmente, las investigaciones de (Alcázar, Núñez, Villanueva, Antileo, & Proal, 2020) y (Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao, 2019), quienes trabajaron con plantas y desechos agricolas, respectivamente, y a pesar de trabajar con biosorbentes distintos coinciden en que estos metales pesados son potentes contaminantes de suelos y aguas; y, en general del medio ambiente, puesto que no cumplen ninguna función biológica conocida. Igualmente, afirma (Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019), que debido a que los metales pesados poseen características especiales, se convierten en contaminantes potentes del medio ambiente (afinidad con grupos tiolicos, biodisponibilidad en medio acuoso, estabilidad los hace residuales, bioconcentración en organismos vivos, afectando las cadenas alimenticias).

El autor (Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng, 2020), quien trabajó con plantas como biosorbente, afirma que las formas en que se encuentran los metales pesados en la naturaleza dependen principalmente del pH del suelo, de las propiedades oxidantes y reductoras del metal y del lixiviado, del tipo y de la concentración de los ligandos disponibles, encontrándose los metales pesados pueden en forma de iones libres, complejos con ligandos orgánicos e inorgánicos, coloides dispersos, etc. Afirma, (Velkova Z. , y otros, 2018), que los metales pesados tóxicos como el Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, entran al suelo a través de las aguas residuales y lixiviados, de los vertederos, de los fertilizantes fosfatados, de la minería, de la industria de los pigmentos, de los estabilizadores, de la industria de

las aleaciones galvánicas, etc., es por ello que es necesario eliminar estos metales pesados de los suelos.

Los investigadores (Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah, 2019), utilizaron como biosorbentes los desechos industriales y agrícolas para la adsorción simultánea de iones La e Y, siguiendo el modelo de isoterma de Langmuir, debido a la quelación favorable y las fuertes interacciones químicas entre los grupos funcionales en la superficie del biosorbente y los iones metálicos, logrando a través de esta técnica una reducción de estos metales pesados. Esta opinión es igualmente apoyada por (Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao, 2019), quien afirma que al adicionar oxígeno después de la adsorción ofrece una interpretación de que los iones de metales de tierras raras están quelados e incorporados muy probablemente en forma de óxidos metálicos pero la cinética del mecanismo de biosorción del Cu (II) en un biosorbente difiere del Pb (II). (Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019) quienes trabajaron con algas *clorófitas* de clase única y una mezcla formada a partir de clorófitas para la erradicación de Cu (II) y Pb (II), señalan la efectividad del rendimiento de biosorción de estos biosorbentes, en la reducción de los metales pesados.

Para (Bautista, y otros, 2018), quienes trabajaron su investigación con biorreactores como biosorbente, indican que las concentraciones lixiviadas de los metales pesados son menores que los niveles de toxicidad siguiendo un orden: Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > As > Cd. La concentración más alta fue de Zn (aproximadamente 0,28 mg / L), seguida de Cu a una concentración de 0,17 mg / L, mientras que la concentración más baja fue de Cd a 0,009 mg / L. (Amabilis, Siebe, Moeller, & Durán, 2016), Utilizaron a la planta *Phragmites Australis* como biosorbente debido a que para el Hg se requiere de biosorbentes efectivos para su remoción, debido a que es un metal pesado que ocasiona gran daño a los organismos vivos, siendo gran contaminante de aguas y suelos. Igualmente, la capacidad de adsorción de los biosorbentes utilizados en la producción de sustratos para la producción de hongos (*Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus*) y del hongo gastado compostado (SMC), en base a los grupos funcionales de su carbono orgánico es efectiva contra los metales pesados como el Cd, Pb y Cu (Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016).

(Yu, y otros, 2020), utilizó a los biorreactores con lodo humidificado, y señala que hay que tener en cuenta que no todos los metales pesados pueden eliminarse mediante procesos de biorremediación. Y con esto están de acuerdo los autores (Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020) y (Moreno, Peña, & Benítez, 2019), quienes en sus investigaciones al utilizar biorreactores y bacterias, respectivamente, coinciden en que son difíciles de eliminar del medio ambiente varios metales pesados nocivos presentes en diferentes estados de oxidación como zinc (Zn), arsénico (As), cromo (Cr), cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu), níquel (Ni) y plomo (Pb); elementos radiactivos como uranio y estroncio; así como compuestos orgánicos como trinitrotolueno, 1,3,5-trinitro-1,3,5-hexahidrotiazina, hidrocarburos de petróleo (benceno, tolueno, xileno, etc.) debido a su naturaleza no biodegradable. Los metales pesados, principalmente el Cr+6, se vuelven extremadamente tóxicos si su concentración excede cierto umbral (Moreno, Peña, & Benítez, 2019).

Para (Incahuanaco, Montalván, & Dávila, 2021) y (Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016) los tipos de metales pesados como el As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb, son componentes con pesos atómicos, números atómicos y densidades superiores a 44.956, 20 y 5gr/cm³, respectivamente, a excepción de los grupos alcalinotérreo, alcalino, actínidos, lantánidos, lo que las hace tóxicas en grandes cantidades y no tan fáciles de reducir del ambiente contaminado. Por ello, para este estudio al establecer los metales pesados más comunes hallados en lixiviados en un vertedero, se puede señalar que estos son: Arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn), cinc (Zn), Hierro (Fe), antimonio (Sb), berilio (Be), estroncio (Sr), mercurio (Hg), plomo (Pb) y titanio (Ti). También se observó que los menos comunes hallados fueron Lantano (La), Ytrio (Y), Antimonio (Sb), Argón (Ar), Plata (Ag).

Establecer la importancia de los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero, se pudo apreciar de la revisión sistemática de la literatura seleccionada que:

Tabla 4. Importancia de los biosorbentes

Biosorbentes	Autor	Contenido
Hongos	(Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016)	La importancia de los biosorbentes radica en que poseen capacidades de desintoxicación de metales, como la acidificación del suelo y la producción de sustancias movilizadoras / inmovilizadoras de metales, y por lo tanto se consideran una herramienta biológica para la biosorción.
	(Tuomela & Hatakka, 2019)	La toxicidad del metal está relacionada con los niveles de contaminación, las propiedades fisicoquímicas incluyendo pH, conductividad, materia orgánica y contenido de carbonatos de los suelos, y es aquí donde entran la buena capacidad de diferentes sustancias químicas y sustratos fúngicos biológicos con respecto a la biorremediación de suelos contaminados y reducción de diferentes niveles de metales pesados.
	(Kumar, Nayak, & Agarwal, 2016)	El proceso de biosorción está influido por varios factores: la primera consiste en la existencia de la población microbiana específica, la biodisponibilidad de los contaminantes y los factores ambientales como: nutrientes, pH, temperatura, suelo y presencia de oxígeno u otros aceptores de electrones. La elección de los métodos en cada tecnología requiere una cuidadosa consideración.
	(Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers, 2019)	La contaminación ambiental es una problemática en todo el mundo, causando gran preocupación la contaminación que se origina por las aguas residuales y los lixiviados.
	(Lieswito, Rinanti, & Fachrul, 2019)	La mayoría de las veces, la biosorción se aplica a la degradación de contaminantes en suelos saturados y aguas subterráneas, siendo el mejor método para tratar o limpiar entornos contaminados porque es más barato y utiliza organismos microbianos inofensivos para degradar las sustancias químicas.
Plantas	(Alcázar, Núñez, Villanueva, Antileo, & Proal, 2020)	El aumento de la población junto con la adopción progresiva de un estilo de vida basado en la industria y el consumo, ha conducido inevitablemente a un mayor impacto antropogénico en la biosfera, lo que conduce a la contaminación ambiental.
	(Rojas, Molano, Shanshan, & Yanqing, 2020)	El hecho de que los biosorbentes capturen o filtren los metales pesados en lugares cultivados con cualquier tipo de planta, fundamenta la importancia de su uso en la eliminación de esta forma de los lixiviados.
	(Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng, 2020)	Los lixiviados emanados de vertederos han sido considerados como fuente de contaminación por los distintos metales pesados que se logran encontrar en el medio ambiente, causando daños en los seres vivos.
	(Sepúlveda, Tapia, Tapia, Milla, & Pavez, 2020)	La biorremediación está ayudando a la humanidad y a la sociedad a lidiar con los residuos peligrosos y tóxicos, que son perjudiciales para la salud y el entorno, si no se eliminan o no se convierten en seguros. La biorremediación a través de la biosorción es el uso de organismos biológicos para resolver un problema medioambiental en suelos o aguas subterráneas contaminadas, es decir, se trata de una técnica para eliminar los contaminantes del medio ambiente y, de este modo, restaurar el entorno natural y evitar una mayor contaminación.
	(Amabilis, Siebe, Moeller, & Durán, 2016)	La biosorción es básicamente una técnica en la que se utilizan microorganismos para la gestión de residuos biológicos, utilizando a estos microorganismos para la eliminación de contaminantes de los entornos contaminados.

	(Castebianco, 2018)	En los procesos de biosorción interviene una biomasa constante de diversos organismos, vivos, inactivos o muertos, y sus productos, con varias estrategias para unir y concentrar metales pesados, como las bacterias (biosorción bacteriana), los hongos (micorremediación), las algas y/o plantas (fitoabsorción), rizosfera (rizorremediación), y biomoléculas derivadas de organismos (biorremediación derivada).
Desechos Industriales y agrícolas	(Díaz, Cervantes, Cervantes, & Torres, 2016)	La biosorción es la tecnología más eficaz, económica y ecológica para la eliminación de metales pesados en agua y suelos con el propósito de equilibrar el medio ambiente.
	(Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah, 2019)	Los biosorbente en condiciones favorables degradan o transforman los contaminantes ambientales tóxicos en otros más simples e inofensivos.
	(Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020)	Los mecanismos implicados en la biosorción incluyen el intercambio iónico, la precipitación y la adsorción física, lo que implica una parte importante al momento de la selección del biosorbente a utilizar.
	(Inoue, y otros, 2017)	Para evaluar la economía de las operaciones de tratamiento de aguas y suelos, es importante tener en cuenta la dosis de biosorbente durante el proceso de biosorción y se debe determinar la dosis de biosorbente óptima para lograr la máxima capacidad de biosorción.
	(Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao, 2019)	Es bien sabido que la biorremediación a través del uso de los biosorbentes es una tecnología emergente e interdisciplinaria que involucra conocimientos de ingeniería química y bioquímica, ecología, estadística, microbiología, propiedades químicas y bioquímicas, y geología.
	(Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016)	Los factores que limitan la eficacia de la degradación microbiana de los contaminantes orgánicos son numerosos. Además de la biodisponibilidad del propio contaminante, la baja temperatura, las condiciones anaeróbicas, los bajos niveles de nutrientes y cosustratos, la presencia de sustancias tóxicas y el potencial fisiológico de los microorganismos son especialmente importantes en los lugares contaminados.
	(Singh, y otros, 2020)	El uso de biosorbentes es ventajoso sobre los adsorbentes convencionales, la arcilla, quitina, turba, biomasa microbiana y los desechos agrícolas son biosorbentes de uso común utilizados ampliamente para la eliminación de colorantes, metales pesados pesticidas y demás contaminantes tóxicos.
	(Moreno, Peña, & Benítez, 2019)	Los biosorbentes como las bacterias ambientales tienen como función principal la eliminación de los metales pesado del área contaminada, por ello a la hora de seleccionar el biosorbente se deben determinar cuál sería el más eficiente como una forma de desintoxicación del metal.
Bacterias	(Velkova Z. , y otros, 2018)	A pesar de la extensa investigación en esta área, ha habido un éxito limitado en la comercialización de tecnologías que utilizan biosorbentes. Se requieren análisis económicos y de mercado detallados para evaluar la viabilidad de las tecnologías de acuerdo al suelo y el grado de contaminación.
	(Liu, Bilal, Duan, & Iqbal, 2019)	Los biosorbentes son importantes para biorremediar los suelos, pero La solución a todo esto es obvia: clasificación de los residuos, desde cada hogar, con una cultura ecológica recicladora; si se toman en cuenta estos criterios orientadores, siendo adecuado concientizando e informando a la población sobre lo necesario que es evitar la formación de lixiviados contaminantes en los lugares donde se hace vida.
	(Santana, y otros, 2020)	La biosorción a través de organismos ha demostrado ser una tecnología emergente y prometedora que se convierte en una alternativa a las tecnologías tradicionales, puesto que estos biosorbentes no van a causar impacto ecológico en el entorno contaminado a recuperar.

	(Alghamdi, Aly, & Ibrahim, 2021)	Las prácticas de manejo y eliminación de desechos sólidos se han convertido en importantes preocupaciones ambientales y de salud pública en las áreas urbanas de muchos países en desarrollo debido a prácticas de manejo inadecuadas, prácticas inseguras de vertido a cielo abierto y administración desorganizada.
	(Covarrubias & Cabriales, 2017)	Sin embargo, aun hoy en día se practican ciertas técnicas convencionales como la incineración a alta temperatura, los métodos químicos y varias técnicas de descomposición más alta para limpiar sitios contaminados, estos procesos no conducen a la destrucción final de contaminantes.
	(Rojas & Galván, 2018)	Para superar los problemas ocasionados por los métodos tradicionales para limpiar sitios contaminados, los ambientalistas están buscando microbios como bacterias, hongos, algas, levaduras, cianobacterias, plantas verdes o sus enzimas, para remediar los contaminantes ambientales de los sitios contaminados
	(Bibi, manzoor, Azhar, Saeed, & Raheem, 2019)	Hay que prestar más atención a la aplicación de la biosorción por sus efectos desconocidos en el ecosistema, dado que se añaden grandes cantidades de microbios degradantes a los lugares contaminados, por lo que una vez aplicado el biosorbente se debe confirmar que la biomasa ha desaparecido después de la adsorción sin afectar el suelo al que se le aplicó.
	(Abba, Yahaya, Ahmad, Ramírez, & Yusuf, 2020)	Se considera que todavía está en desarrollo las normativas que limitan la eliminación de los distintos productos químicos y un aumento de costos para los tratamientos físicos y químicos que hacen que las tecnologías de biorremediación sean más atractivas.
	(Incahuanaco, Montalván, & Dávila, 2021)	Los biosorbentes reducen ampliamente los metales pesados encontrados en los suelos y las aguas contaminada, por lo que se recomienda el uso de estos elementos para la reducción de la contaminación ambiental.
	(Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020)	Los métodos de tratamiento que utilizan microorganismos son una forma atractiva de eliminar o remediar los contaminantes de los lixiviados, ya que son eficaces con el medio ambiente. De allí radica su importancia.
	(Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019)	En los últimos años, la biosorción ha surgido como una tecnología atractiva en la eliminación de metales pesados debido a sus ventajas de buena eficiencia de adsorción, bajos costos y una alta afinidad natural por los iones metálicos.
Biorreactores (Lodo humidificado)	(Yu, y otros, 2020)	La generación de residuos ha sido testigo de una tendencia creciente industrial, urbanización y población, lo que hace que el problema se convierta en uno de los principales problemas ambientales urbanos.
	(Bautista, y otros, 2018)	La biomasa minimiza las concentraciones que se encuentran en los iones de metal pesad contenidos por agua y suelo, hasta alcanzar niveles de parte por billón (ppb), permitiendo la reutilización de desechos orgánicos provenientes de los procesos agrícolas e industriales.
	(Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya, 2017)	Al utilizar los biosorbentes se aplica una técnica que se enfoca en un bajo costo, bajo mantenimiento, respetuoso con el medio ambiente y sostenible para la limpieza de lugares contaminados, además, de que trata el material contaminado en el sitio.
	(Páez, Del Socorro Bravo, Peinado, & Flores, 2016)	También hay que tener en cuenta la reticencia del público a aceptar los organismos modificados como biosorbentes, los cuales deben demostrar que no son tóxicos para el medio ambiente. Las tecnologías de biorremediación se han empleado con éxito en el campo y están adquiriendo cada vez más importancia con la creciente aceptación de soluciones de remediación ecológicas.

	(Porras, Contreras, & Ortega, 2018)	Se ha utilizado una amplia gama de biomasa biológica como material biosorbente, incluidos hongos, levaduras, bacterias y algas, debido a su alta proporción de superficie a volumen y su rentabilidad, así como al beneficio de estar fácilmente disponible en grandes cantidades de biomasa.
Proceso Fenton	(Medina, Montero, & Cruz, 2016)	Los biosorbentes tienen potencial para secuestrar metales pesados de suelos, mostrando una buena capacidad de biosorción, favoreciendo la eliminación de iones metálicos en un sistema único en lugar de multicomponente.
Celda de membrana SEPA II	(Vera, y otros, 2016)	La biosorción se utiliza para limpiar el suelo y el agua contaminados mediante el uso de agentes biológicos.

Para (Rojas & Galván, 2018) es importante la biosorción porque es una técnica en la que se utilizan microorganismos para la gestión de residuos biológicos, puesto que al utilizar a estos microorganismos para la eliminación de contaminantes de los entornos contaminados a través de biosorbentes que implican bajo costo, bajo mantenimiento, respeto con el medio ambiente y sostenibilidad en la limpieza de lugares contaminados en el sitio, se reduce la contaminación ocasionada por los metales pesados. Conforme a lo señalado por (Castebianco, 2018) los procesos de biosorción utilizando biosorbentes, son importantes debido a que, al reducir metales pesados de lixiviados en un vertedero, interviene una biomasa constante de diversos organismos, vivos, inactivos o muertos, y sus productos. Esta intervención de acuerdo con (Cota, Nuñez, Delgado, & Martínez, 2019) se realiza utilizando con varias estrategias para unir y concentrar metales pesados, como las bacterias (biosorción bacteriana), los hongos (micorremediación), las algas y/o plantas (fitoabsorción), los desechos orgánicos e industriales, y biomoléculas derivadas de organismos (biorremediación derivada).

La importancia de la intervención de la biosorción radica principalmente en la toxicidad del metal, la cual está relacionada con los niveles de contaminación, las propiedades fisicoquímicas incluyendo pH, conductividad, materia orgánica y contenido de carbonatos de los suelos (Tuomela & Hatakka, 2019). Por tanto, de estos argumentos se destaca el hecho de que es muy importante para el medio ambiente el uso de los biosorbentes, debido a que la biorremediación a pesar de estar en desarrollo, es una tecnología que puede ser la solución directa a esta problemática a través del uso de organismos de origen natural que abaratan los costos de estos procesos (Santana, y otros, 2020). A su vez (Porras, Contreras, & Ortega, 2018),

afirman la importancia del uso de los biosorbente para eliminar estos metales tan potencialmente tóxicos para los seres humanos y su elección debe ser cuidadosa al momento de aplicarla con el propósito de que sean eficientes. De acuerdo a (Frutos, García, Gárate, & Eymar, 2016) la importancia de los biosorbentes radica en que poseen capacidades de desintoxicación de metales, como la acidificación del suelo y la producción de sustancias movilizadoras / inmovilizadoras de metales, y por lo tanto se consideran una herramienta biológica para la biosorción.

Los biosorbentes actualmente son importantes como candidatos potencialmente eficientes, ecológicos y rentables para eliminar los metales pesados, ya que tienen la potencia de producir organismos que se convierten en principales factores esenciales para la tolerancia al estrés ambiental (Cota, Nuñez, Delgado, & Martinez, 2019) y (Díaz, Cervantes, Cervantes, & Torres, 2016) coinciden al señalar que la importancia de la biosorción radica en que son la tecnología más eficaz, económica y ecológica para la eliminación de metales pesados en agua y suelos con el propósito de equilibrar el medio ambiente. Aun así, hay que dejar claro que estas tecnologías están en pleno desarrollo, buscando la perfección de su método y el llenado de lagunas de conocimientos, pues es importante biorremediar los suelos y aguas, con el propósito de purificar el medio ambiente y salvar el planeta, esto es afirmado por (Díaz, Cervantes, Cervantes, & Torres, 2016).

En el mismo orden de ideas, se afirma que estos contaminantes también se ubican en las aguas residuales industriales y los lixiviados contribuyen al riesgo para la salud humana y del ecosistema cuando se descargan sin el tratamiento adecuado. Por ello, (Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah, 2019) indican que los biosorbentes son importantes por su bajo costo y alta capacidad de unión hacia los metales lo que trae como consecuencia que se utilizan cada vez más para la eliminación de metales pesados, debido a sus propiedades físico-químicas inherentes que influyen significativamente en su capacidad de adsorción (Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda, 2016). Una característica clave e importante de los estudios de biosorción es la utilización de diferentes técnicas analíticas para evaluar varios aspectos del proceso, lo que lleva a destacar no solo la importancia económica que tienen los diferentes tipos de biosorbentes, sino también la importancia ambiental, ya que gracias a ellos se logran ventajas para el medio ambiente eliminando metales

pesados que causan daños irreparables no solo a seres vivos, puesto que afecta gravemente a los ecosistemas (Tuomela & Hatakka, 2019).

Entre la importancia que tiene el uso de los biosorbentes se encuentra en que reducen ampliamente los metales pesados encontrados en los suelos y las aguas contaminada, por lo que se recomienda el uso de estos biosorbentes para un tratamiento adecuado de aguas residuales y la reducción de la contaminación ambiental (Inchuanaco, Montalván, & Dávila, 2021). Se destaca que los métodos de tratamiento que utilizan microorganismos son una forma atractiva de eliminar o remediar los contaminantes de los lixiviados, ya que son eficaces con el medio ambiente. De allí radica su importancia (Gede, Friatnasary, Khoiruddin, Setiadi, & Boopathy, 2020). Igualmente, (Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah, 2019) afirman que los biosorbentes en condiciones favorables degradan o transforman los contaminantes ambientales tóxicos en otros más simples e inofensivos

Para (Fuentes, Sanguinetti, & Astudillo, 2019) en los últimos años la biosorción ha surgido como una tecnología atractiva en la eliminación de metales pesados debido a sus ventajas en la buena eficiencia de adsorción, bajos costos y una alta afinidad natural por los iones metálicos. Para evaluar la economía de las operaciones de tratamiento de aguas y suelos, es importante tener en cuenta la dosis de biosorbente durante el proceso de biosorción y se debe determinar la dosis de biosorbente óptima para lograr la máxima capacidad de biosorción (Inoue, y otros, 2017). Igualmente, los biosorbentes tienen potencial importancia en su capacidad para secuestrar metales pesados de suelos, mostrando una buena capacidad de biosorción al eliminar iones metálicos en un sistema único en lugar de multicomponente (Medina, Montero, & Cruz, 2016).

En el mismo sentido, se reafirmar que se ha utilizado una amplia gama de biomasa biológica como material biosorbente, incluidos hongos, levaduras, bacterias y algas, debido a su alta proporción de superficie a volumen y su rentabilidad, así como al beneficio de estar fácilmente disponible en grandes cantidades de biomasa (Porrás, Contreras, & Ortega, 2018). Los biosorbentes como las bacterias ambientales tienen el rol de eliminar y descontaminar la zona, por ello a la hora de seleccionar el biosorbente se debe determinar cuál sería el más eficiente como una forma de desintoxicación del metal (Moreno, Peña, & Benítez, 2019). A pesar de la

extensa investigación en esta área, ha habido un éxito limitado en la comercialización de tecnologías que utilizan biosorbentes, puesto que se requiere análisis económico y de mercado detallados para evaluar la viabilidad de las tecnologías de acuerdo al suelo y el grado de contaminación (Velkova Z. , y otros, 2018).

Por ello, los biosorbentes son importantes para biorremediar los suelos, pero la solución a todo esto es obvia: clasificación de los residuos, desde cada hogar, con una cultura ecológica recicladora; si se toman en cuenta estos criterios orientadores, es importante concientizar e informar a la población de lo necesario que es evitar la formación de lixiviados contaminantes en los lugares donde se hace vida (Liu, Bilal, Duan, & Iqbal, 2019). La biosorción a través de organismos ha demostrado ser una tecnología emergente y prometedora que se convierte en una alternativa a las tecnologías tradicionales, puesto que estos biosorbentes no van a causar impacto ecológico en el entorno contaminado a recuperar (Santana, y otros, 2020). Los mecanismos implicados en la biosorción incluyen el intercambio iónico, la precipitación y la adsorción física, lo que implica una parte importante al momento de la selección del biosorbente a utilizar (Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä, 2020). El hecho de que los biosorbentes capturen o filtren los metales pesados en lugares cultivados con cualquier tipo de planta, fundamenta la importancia de su uso en la eliminación de esta forma de los lixiviados (Rojas, Molano, Shanshan, & Yanqing, 2020).

V. CONCLUSIONES

Se concluye que corresponde al objetivo general se realizó un análisis a partir de una revisión sistemática de los tipos de biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero, logrando como resultado la determinación de los tipos de biosorbentes de metales pesados más utilizados con un promedio de efectividad de 82.88% contra los metales pesados.

Se concluye que los tipos de biosorbentes de metales pesados más utilizados en lixiviados en un vertedero, siendo los siguientes: bacterias, hongos, algas, plantas, desechos industriales y agrícolas y biorreactores (lodos humidificados), los cuales adsorben los contaminantes presentes en los vertederos. Estos biosorbentes ofrecen una potencial alternativa a los métodos tradicionales utilizados para recuperación de metales tóxicos presentes en vertederos.

Se concluye que los metales pesados más comunes en lixiviados en un vertedero, delimitados en: Fe, Cd, Pb, Cr, As, Ni, Zn, Cu. En los diferentes artículos fueron estos los metales los más comunes, investigados y hallados en los vertederos, determinándose también que algunos de ellos son indispensables para el organismo, pero en bajas concentraciones, de tal forma que no causen daño.

Se concluye que la importancia de los biosorbentes de metales pesados de lixiviados en un vertedero, por cuanto los biosorbentes reducen de modo efectivo los metales pesados hallados en suelos y aguas contaminadas, lo que causa que se recomiende el uso de organismos para que se traten los vertederos, trayendo como consecuencia no solo la reducción de los metales pesados sino también de la contaminación ambiental.

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar investigaciones con nuevos tipos de biosorbentes como el de Celda Membrana SEPA II, para mejorar mayor capacidad de adsorción e identificar su efectividad según su tipo de estudio en porcentaje.

Crear una cultura comunitaria, con la finalidad de formar en tratamiento de residuos sólidos para evitar altas concentraciones de metales pesados contaminantes de suelos y aguas. Por lo tanto, dar a conocer las distintas normativas que proveen la legalización de dicho tema, con la intervención de organismo privado y público, sobre todo a nivel nacional.

Realizar un estudio donde se evalúe la factibilidad económica sobre el tipo de biosorbente en un vertedero municipal y minero.

Se recomienda realizar estudios sobre los tipos de residuos como: Cobre y alambre en un vertedero para identifica los metales pesados que se ocasionan.

BIBLIOGRAFÍA

ABBA, Z., YAHAYA, S., AHMAD, S., RAMÍREZ-MORENO, N., & YUSUF, Y. Bioremediation of heavy metals by melanised and non-melanised feathers and heavy metalresistant feather-degrading bacteria. *Mexican Journal of Chemical Engineering*, 19(Sup. 1), 243-252. 2020. doi:<https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio1551>

ABDELKAREEM, H., ALWARD, A., AL-MUSAWI, T. J., & BROUERS, F. A comparative study for the identification of superior biomass facilitating biosorption of copper and lead ions: a single algae or a mixture of algae. *International Journal of Environmental Research*, 13(3), 533-546. 2019. doi:<https://doi.org/10.1007/s41742-019-00194-9>

ALAMUN, R., AHMED, Z., & HOWLADAR, F. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100311. 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100311>

ALAN, D., & CORTEZ, L. UTMACH. 2018. Obtenido de UTMACH: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>

ALCÁZAR-MEDINA, F., NÚÑEZ-NÚÑEZ, C., VILLANUEVA-FIERRO, I., ANTILEO, C., & PROAL-NÁJERA, J. Removal of heavy metals present in groundwater from a northern Mexico mining community using Agave tequilana Weber extracts. *Mexican Journal of Chemical Engineering*, 19(3), 1187-1199. 2020. doi:<https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio1047>

ALGHAMDI, A. G., ALY, A. A., & IBRAHIM, H. M. Assessing the environmental impacts of municipal solid waste landfill leachate on groundwater and soil contamination in western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 350(2021). 2021. doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-021-06583-9>

AL-HOMIDAN, A., AL-QAHTANI, H., AL-GHANAYEM, A., AMEEN, F., & IBRAHEEM, I. Potential use of green algae as a biosorbent for hexavalent chromium removal from aqueous solutions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1733-1738. 2018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.011>

ALOTHMAN, Z., BAHKALI, A., KHIYAMI, M., ALFADUL, S., WABAIDUR, S., ALAM, M., & ALFARHAN, B. Low cost biosorbents from fungi for heavy metals removal from wastewater. *Separation Science and Technology*, 55(10), 1766-1775. 2020. doi:<https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1608242>

AMABILIS-SOSA, L., SIEBE, C., MOELLER-CHÁVEZ, G., & DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA, M. Mercury removal by *Phragmites australis* used as a biological barrier in constructed wetlands inoculated with heavy metal-tolerant strains. 32(1), 47-53. Recuperado el 01 de setiembre de 2021, 2016. de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976902715&origin=inward&txGid=441ab592f990e8460fe7ab6b8d285a06>

ARIAS, F. *Editorial Episteme*. 2017. Obtenido de Editorial Episteme.

ATUL, K., & VARUN, G. 3 - E-waste: an emerging threat to “one health”. *Environmental Management of Waste Electrical and Electronic Equipment-Elsevier*, 49-61. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822474-8.00003-9>

AZIZI, A., CHOY, M., NOOR, Z., & NOORLIDAH, A. Effect on heavy metals concentration from vermiconversion of agro-waste mixed with landfill leachate. *Waste Management*, 38, 431-435. 2015. Recuperado el 12 de marzo de 2021

BACELO, H., SANTOS, S., & BOTELHO, C. Tannin-based biosorbents for environmental applications – A review. *Chemical Engineering Journal*, 303(1), 575-587. 2016. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.044>

BAUTISTA-RAMÍREZ, J., GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, R., NÁJERA-AGUILAR, H., MARTÍNEZ-SALINAS, R., VERA-TOLEDO, P., ARAIZA-AGUILAR, J., . . . ROJAS-VALENCIA, M. Bioreactor relleno de residuos envejecidos (ARFB) como pretratamiento para lixiviados en rellenos. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 17(2), 561-571. 2018. doi:<https://doi.org/10.24275/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n2/Bautista>

BERNAT, K., ZABOROWSKA, M., WOJNOWSKA, I., & PIOTROWICZ, B. Leachate after aerobic stabilization of municipal solid waste supplemented by waste glycerine from saponification to improve biogas production during co-digestion. *Biomass and Bioenergy*(144), 105908. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105908>

- BIANCHI, E., COPPI, A., NUCCI, S., ANTAL, A., BERARDI, C., COPPINI, E., . . . COLZI, I.** Closing the loop in a constructed wetland for the improvement of metal removal: the use of *Phragmites australis* biomass harvested from the system as biosorbent. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 11444-11453. 2021. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11291-0>
- BIBI, T., MANZOOR, S., AZHAR, S., SAEED, M., & RAHEEM, M. A.** Role of Bioremediation in Environment. *Peer Reviewed International Journal*, 2(3), 54-59. Recuperado el 11 de setiembre de 2021, 2019. de https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3544264_code2651017.pdf?abstractid=3544264&mirid=1
- BILAL, M., RASHEED, T., NABEEL, F., IQBAL, H. M., & ZHAO, Y.** Hazardous contaminants in the environment and their laccase-assisted degradation - A review. *Journal of Environmental Management*, 234(1), 253-264. 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.001>
- BORTOLUZ, J., CEMIN, A., BONETTO, L., FERRARINI, F., & ESTEVES, V. G.** Isolation, characterization and valorization of lignin from *Pinus elliottii* sawdust as a low-cost biosorbent for zinc removal. *Cellulose*, 26(8), 4895 - 4908. 2019. doi:<https://doi.org/10.1007/s10570-019-02399-9>
- CARVAJAL, E., & CARDONA, S.** Technologies applicable to the removal of. *Environmental Science and Pollution*, 26(16), 15725-15753. 2019. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04888-7>
- CARVAJAL, E., & MARULANDA, L.** Coffee Waste used as Biosorbent for Heavy Metals Removal in Wastewater. *Ingenierías USBmed*, 11(1), 44-55. 2020. doi:<https://doi.org/10.21500/20275846.4477>
- CASTEBLANCO, J.** Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation. *Revista Granja*, 27(1), 21-35. 2018. doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>
- CHU, Z., FAN, X., WANG, W., & HUANG, W.** Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting. *Waste Management*, 84, 119-128. 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.031>

COTA-RUIZ, K., NUÑEZ-GASTELÚM, J. A., DELGADO-RIOS, M., & MARTINEZ-MARTINEZ, A. Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(1), 37-44. 2019. doi:<https://doi.org/10.18633/biotecnica.v21i1.811>

COVARRUBIAS, S., & CABRIALES, J. P. Environmental pollution by heavy metals in Mexico: Problems and phytoremediation strategies. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(2017). 2017. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

DAN, A., OKA, M., FUJII, Y., SODA, S., ISHIGAKI, T., MACHIMURA, T., & IKE, M. Removal of heavy metals from synthetic landfill leachate in lab-scale vertical flow constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 584-585, 742-750. 2017. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.112>

DE SOUZA, L., SCHUENG, A., PAGGI, Â., MENEZES, R., BORK, J., VIEIRA, A., & CUBASA, S. Biopolishing sanitary landfill leachate via cultivation of lipid-rich *Scenedesmus* microalgae. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127094. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127094>

DÍAZ, J. P., CERVANTES, E. P., CERVANTES, R. L., & TORRES, I. M. Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada. *Idesia*, 34(1), 19-25. 2016) doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000100003>

EL MRABET, I., NAWDALI, M., RAFQAH, S., VALDÉS, H., BENZINA, M., & ZAITAN, H. Low-cost biomass for the treatment of landfill leachate from Fez City: application of a combined coagulation–adsorption process. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5(3), 1-14. 2020.

ESCUDERO, C., & CORTEZ, L. Editorial UTMACH. 2018. Obtenido de Editorial UTMACH: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12501>

FLOR, J. P., PEÑA, M. J., MARTÍNEZ, L. F., HUERTA, C. L., & MOYA, B. L. In situ bioremediation of hydrocarbons contaminated soils: case of an oil pipeline in Malaga (Spain). *Revista de Ingeniería e Industria*, 69(4), 1-11. 2017 doi:<http://dx.doi.org/10.6036>

FLORES, E., & MARULANDA, L. Uso de residuos de café como biosorbente para la remoción de metales pesados en aguas residuales. *Ingenierías USBMed*, 11(1), 44-55. 2020. doi:<https://doi.org/10.21500/20275846.4477>

FRUTOS, I., GARCÍA-DELGADO, C., GÁRATE, A., & EYMAR, E. Biosorption of heavy metals by organic carbon from spent mushroom substrates and their raw materials. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(11), 2713-2720. 2016. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-016-1100-6>

FUENTES-HERNÁNDEZ, M., SANGUINETTI-GAMBOA, O., & ASTUDILLO, L. R. Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del golfo de Cariaco. 35(1). 2019. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.07>

GEDE, I., FRIATNASARY, D., KHOIRUDDIN., K., SETIADI, T., & BOOPATHY, R. Extractive membrane bioreactor (EMBR): Recent advances and applications. *Bioresource Technology*, 297(2020), 122424. 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122424>

GOGOI, H., LEIVISKÄ, T., RÄMÖ, J., & TANSKANEN, J. Production of aminated peat from branched polyethylenimine and glycidyltrimethylammonium chloride for sulphate removal from mining water. *Environmental Research*, 175, 323-334. 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.022>

GUILLEN, O., CERNA, B., GONDO, R., SUARÉZ, F., & MARTÍNEZ, E. *Biblioteca Nacional del Perú*. 2019. Obtenido de Biblioteca Nacional del Perú: http://cliic.org/2020/Taller-Normas-APA-2020/libro-cualitativo-PACIFICO_c.pdf

HASSAN, A., PARIATAMBY, A., AHMED, A., SHNADA, H., & SHAHUL, F. Enhanced Bioremediation of Heavy Metal Contaminated Landfill Soil Using Filamentous Fungi Consortia: a Demonstration of Bioaugmentation Potential. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(9), 1-20. 2019. doi:<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4227-5>

HEIDERSCHEIDT, E., POSTILA, H., & LEIVISKÄ, T. Removal of metals from wastewaters by mineral and biomass-based sorbents applied in continuous-flow continuous stirred tank reactors followed by sedimentation. *Science of the Total Environment*, 700(2020), 135079. 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135079>

HERNANDEZ, M., & MENDOZA, C. *ACADEMIA Accelerating the world's research*. Obtenido de ACADEMIA Accelerating the world's research. 2018: https://www.academia.edu/download/65000949/METODOLOGIA_DE_LA_INVESTIGACION_LAS_RUTA.pdf

HOM Aidan, A., AL-QAHTANI, H., AL-GHANAYEM, A., AMEEN, F., & IBRAHEEM, I. Potential use of green algae as a biosorbent for hexavalent chromium removal from aqueous solutions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1733-1738. 2018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.011>

IMRON, M., KURNIAWAN, S., & ABDULLAH, S. Resistance of bacteria isolated from leachate to heavy metals and the removal of Hg by *Pseudomonas aeruginosa* strain FZ-2 at different salinity levels in a batch biosorption system. *Sustainable Environment Research*, 31(14), 1-13. 2021. doi:<https://doi.org/10.1186/s42834-021-00088-6>

INCAHUANACO, J., MONTALVÁN, R., & DÁVILA, Y. Contaminación por metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en sedimentos superficiales del Estuario Boca Del Río, Ilo, Moquegua, Perú 2021. *Sincretismo - Revista de divulgación científica*, 1(1), 10-13. 2021. Recuperado el 12 de setiembre de 2021, de <http://200.48.160.222/index.php/sincretismo/article/view/47/52>

INOUE, K., PARAJULI, D., GHIMIRE, K. N., BISWAS, B. K., KAWAKITA, H., OSHIMA, T., & OHTO, K. Biosorbents for Removing Hazardous Metals and Metalloids. *Materials (Basel)*, 10(857), 1-33. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/ma10080857>

IQBAL, J., JAVED, A., & BAIG, M. Heavy metals removal from dumpsite leachate by algae and cyanobacteria. *Bioremediation Journal*, 1-13. 2021. doi:<https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1884530>

ISHCHENKO, V. Prediction of heavy metals concentration in the leachate: a case study of Ukrainian waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1892-1900. 2018. doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-018-0740-7>

JAGODZIŃSKA, K., GARCIA, C., YANG, W., PÄR, G., PRETZ, T., & RAULF, K. Characterisation of excavated landfill waste fractions to evaluate the energy recovery potential using Py-GC/MS and ICP techniques. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 1-11. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105446>

JUAN, G. *UNC*. 2018. Recuperado el 12 de marzo de 2021, de UNC: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2238>

KAMARUDDIN, M. A., YUSOFF, M. S., RUI, L. M., ISA, A. M., ZAWAWI, M. H., & ALROZI, R. An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysian and Asian perspectives. *Environ Sci Pollut Res*, 24(2020), 26988-270290. 2017. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0303-9>

KINOSHITA, H. Biosorption of Heavy Metals by Lactic Acid Bacteria for Detoxification. *Methods in Molecular Biology*, 1887(2), 145-147. 2019. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-14939-8907-2>

KUMAR, V., NAYAK, A., & AGARWAL, S. Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects. *Environmental Engineering Research*, 20(1), 1-18. 2016. doi:<https://doi.org/10.4491/eer.2015.018>

KUSRINI, E., USMAN, A., SANI, F., WILSON, L., & ABDULLAH, M. Simultaneous adsorption of lanthanum and yttrium from aqueous solution by durian rind biosorbent. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8), 31292792. 2019. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7634-6>

KWARCIAK, A., & FIJAŁKOWSKI, K. Efficiency assessment of municipal landfill leachate treatment during advanced oxidation process (AOP) with biochar adsorption (BC). *Journal of Environmental Management*, 287, 112309. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112309>

LENNARTZ, B., & LIU, H. Hydraulic Functions of Peat Soils and Ecosystem Service. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 92. 2019. doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00092>

LI, R., JIANG, Y., XI, B., LI, M., FENG, C., LIU, H., & JIANG, Y. Raw hematite based Fe(III) bio-reduction process for humified landfill leachate treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 10-16. 2018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.002>

LICARES, J. *UNCP*. Recuperado el 12 de marzo de 2021. 2019. de UNCP: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5950>

LIESWITO, N., RINANTI, A., & FACHRUL, M. (2019). Removal of heavy metal (Cu²⁺) by immobilized microalgae biosorbent with effect of temperature and contact time.

Journal of Physics: Conference Series, 2019(1402), 1-7.
doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/2/022106>

LIU, L., BILAL, M., DUAN, X., & IQBAL, H. Mitigation of environmental pollution by genetically engineered bacteria - Current challenges and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 667(1), 444-454. 2019.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.390>

LIUA, H., JIA, S., SONG, X., DANG, F., YUAN, T., & DOU, B. Effects of landfill refuse on the reductive dechlorination of pentachlorophenol and speciation transformation of heavy metals. *Science of The Total Environment*, 760, 144-150. 2020.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144122>

MA, D., LIU, X., ZHANG, M., WANG, J., H. X., YAN, X., ZHONG, J. Bioremediation of heavy metal contamination of acidic carbon gangue with sulfate reducing bacteria. *Ltd IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 634, 2020. 2021.
doi:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/634/1>

MAHMOUD, M. Water treatment of hexavalent chromium by gelatin-impregnated-yeast (Gel-Yst) biosorbent. *Journal of Environmental Management*, 147, 264-270. 2015. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.022>

MATHEW, B. B., JAISHANKAR, M., BIJU, V. G., & BEEREGOWDA, K. N. Role of Bioadsorbents in Reducing Toxic Metals. *Journal of Toxicology*, 2016(4369604), 1-13. 2016. doi:<https://doi.org/10.1155/2016/4369604>

MAYOR, V., AGUDELO, A., GARCÍA, L., & PADILLA, L. Characterization of leachates as an alternative that contributes to the mitigation of contaminants. *Revista ion*, 31(1), 59-63. 2018. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.2750>

MEDINA VALDERRAMA, C. J., MONTERO DEL ÁGUILA, E. M., & CRUZ PIO, L. E. Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(4), 454-466. 2016. Recuperado el 12 de setiembre de 2021, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a07v82n4.pdf>

MORENO-BENAVIDES, J., PEÑA-SALAMANCA, E., & BENÍTEZ-CAMPO, N. Reducción de Cr 6+ en aguas residuales de galvanoplastia con *Bacillus cereus* cepa

B 1. *Universitas Scientiarum*, 24(1), 73-89. 2019. doi:[https://doi.org/10.11144 / Javeriana.SC24-1.rcie](https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC24-1.rcie)

MUEDA, G., ALMANDOZ, A., & SANTILLÁN, F. Preparación y caracterización de biosorbentes basados en compósitos de mwcnt-magnetitahidroxiapatita y su potencial aplicación en la remoción de metales pesados. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 463-475. 2019. doi:<https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.260>

MUEDAS, G., ALMANDOZ, A., & FÁTIMA, S. Preparación y caracterización de biosorbentes basados en compósitos de mwcnt-magnetitahidroxiapatita y su potencial aplicación en la remoción de metales pesados. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 463-475. 2019. doi:<https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.260>

NOREÑA, A., ALCARAZ, N., GUILLERMO, J., & MALPICA, D. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Dialnet*, 12(3), 263-274. 2012. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420>

OCIŃSKI, D., AUGUSTYNOWICZ, J., WOŁOWSKI, K., MAZUR, P., SITEK, E., & RACZYK, J. Natural community of macroalgae from chromium-contaminated site for effective remediation of Cr(VI)-containing leachates. *Science of The Total Environment*, 786(1), 147501. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147501>

OKOLI, B., SHILOWA, P., ANYANWU, G., & MODISE, J. Removal of Pb²⁺ from Water by Synthesized Tannin Resins from Invasive South African Trees. *Water*, 10(5), 648. 2018. doi:<https://doi.org/10.3390/w10050648>

PÁEZ, L., DEL SOCORRO BRAVO, R. I., PEINADO, F., & FLORES, J. Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos conta-Minados (andisol y vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica*, 65(3), 1-5. 2016. Recuperado el 02 de setiembre de 2021, de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84955277792&partnerID=40&md5=215c8d7fd1be6acc1d3334abf21200a4>

PATHIRANA, C., ZIYATH, A., JINADASA, K., EGODAWATTA, P., SARINA, S., & GOONETILLEKE, A. Quantifying the influence of surface physico-chemical properties of biosorbents on heavy metal adsorption. *Chemosphere*, 488-495. 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.074>

PIMENTA, J., & DE LA ORDEN, A. *Pearson Educación*. 2017. Obtenido de Pearson Educación: <https://biblioteca.uw.edu.mx/wp-content/uploads/2017/08/Boleti%CC%81n-Adquisiciones-Enero-Marzo-2015.pdf>

PORRAS, Á. C., CONTRERAS, T. R., & ORTEGA, N. C. Nitrificación en el tratamiento de lodos de lixiviados en un reactor biológico discontinuo secuencial - SBBR. (U. M. Granada, Ed.) *Revista Producción + limpia*, 13(1), 75-82. 2018. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a8>

QAYYUM, S., KHAN, I., MENG, K., ZHAO, Y., & PENG, C. A review on remediation technologies for dense metals polluted soil. *Journal Environmental Science and Technology Innovation*, 1(2020). 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.22034/CAJESTI.2020.01.03>

QIN, H., HU, T., ZHAI, Y., LU, N., & ALIYEVA, J. The improved methods of heavy metals removal by biosorbents: A review. *Environmental Pollution*, 258, 113777. 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113777>

RAINBOW, P. *In Heavy metals in the marine environment*. 2018. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351073158-5/heavy-metal-levels-marine-invertebrates-rainbow>

REMMAS, N., ROUKOUNI, C., & NTOUGIAS, S. Bacterial community structure and prevalence of Pusillimonas-like bacteria in aged landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(7), 6757-6769. 2017. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-8416-8>

ROJAS BARBOSA, S., MOLANO MENDOZA, J., SHANSHAN, J., & YANQING, Z. Ecological Compensation Method for Soil Polluted by Heavy Metals Based on Internet of Things. *Earth Sciences Research Journal*, 24(2), 153-161. 202). doi:<https://doi.org/10.15446/esrj.v24n2.87441>

ROJAS, M., & GALVÁN, O. Análisis de comunidades bacterianas asociadas a la rizósfera de especies vegetales *Miconia zamorensis* y *Erato polymnoides* en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Bionatura*, 3(2), 596-601. 2018. doi:<https://doi.org/10.21931 / RB / 2018.03.02.6>

SAADAT, S., GHORBANZADEH, N., BAGHER, M., & FAZELI, M. Removal of Nitrogen and Phosphorus from Saravan Landfill Leachate by *Chlorella Vulgaris*

Microalgae. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9), 2293-2306. 2020. doi:<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2020.303090.668623>

SAAVEDRA, A. S., MADERA-PARRA, C., PEÑA, E., CERÓN, V., & MOSQUERA, J. Grupos funcionales fitoplantocnicos en una laguna algal de alta tasa usada para la biorremediación de lixiviados de rellenos sanitarios disponibles. *Acta Biológica Colombiana*, 23(3), 295-303. 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n3.69537>

SAFITRI, R., SETYANA, Y., MIRANTI, M., ROSSIANA, N., INDRAWATI, I., REJEKI, S., & NURHAYATI, J. Biodegradation of leachate by consortium of microorganism indigenous. *Scientific Papers*, 62(1), 85. 2019. Obtenido de https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/Scientific%20Papers%20Series%20D%20Animal%20Science_1-2019_2.pdf#page=86

SALIH, S., MOHAMMED, H., ABDULLAH, G., KADHOM, M., & GHOSH, T. Simultaneous Removal of Cu(II), Cd(II), and Industrial Dye onto a Composite Chitosan Biosorbent. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(1), 354-365. 2020. Recuperado el 15 de marzo de 2021

SANTANA-FLORES, A., SÁNCHEZ-AYALA, A., ROMERO-RAMÍREZ, Y., TOLEDO-HERNÁNDEZ, E., ORTEGA-ACOSTA, S., & TORIBIO-JIMÉNEZ, J. Aislamiento e identificación de bacterias tolerantes y bioacumuladoras de metales pesados, obtenidas de los jales mineros El Fraile, México. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 67-75. 2020. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.430/712>

SEPÚLVEDA, B., TAPIA, M., TAPIA, P., MILLA, F., & PAVEZ, O. Heavy metals bioabsorption and soil stabilization by *sarcocornia neei* from experimental soils containing mine tailings. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(3), 567-575. 2020. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.53027>

SHAMIN, S. Biosorptión of Heavy Metals. 21(1), 1-11. 2018. doi:<https://doi.org/10.5772/intechopen.72099>

SINGH, S., KUMAR, V., DATTA, S., DHANJAL, D. S., SHARMA, K., SAMUEL, J., & SINGH, J. Current advancement and future prospect of biosorbents for bioremediation. *Science of The Total Environment*, 709(2020), 135895. 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135895>

SRIHARSHA, LOKESH, K., & SAVITHA. Immobilized fungi on *Luffa cylindrica*: An effective biosorbent for the removal of lead. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 589-595. 2017. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.08.032>

SUHAIB, S., HARITH, M., GHASSAN, A., MOHAMMED, K., & TUSHAR, G. Simultaneous Removal of Cu(II), Cd(II), and Industrial Dye onto a Composite Chitosan Biosorbent. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(1), 354-365. 2020. doi:<https://doi.org/10.1007/s10924-019-01612-x>

SUSUNAGA, M., & ESTÉVEZ, B. Metales pesados en los lixiviados provenientes del. *Revista Iberoamericana de Ciencias basurero no controlado de la Ciudad de Veracruz*, 5(6), 164-171. 2018. doi:<http://reibci.org/publicados/2018/dic/3200111.pdf>

TAMAYO, T.. Editorial Limusa. 2017. Obtenido de Editorial Limusa.

TRUJILLO, O., QUINTERO, A., & VEGA, J. Treatability of the Lixiviates of Sanitary Filling the Hearts of the City of Valledupar Through the Use of Activated Carbon. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1), 77-90. 2019. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.2750>

TUOMELA, M., & HATAKKA, A. Oxidative Fungal Enzymes for Bioremediation. *Comprehensive Biotechnology: Environmental and Related Biotechnologies*, 6(17). 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00349-9>

UTOMO, H., TAN, K., CHOONG, Z., YU, J., ONG, J., & LIM, Z. Biosorption of Heavy Metal by Algae Biomass in Surface Water. *Journal of Environmental Protection*, 7(11), 1547 - 1560. 2016. doi:<https://doi.org/10.4236/jep.2016.711128>

VELKOVA, Z., KIROVA, G., STOYTCHIEVA, M., KOSTADINOVA, S., TODOROVA, K., & GOCHEV, V. Immobilized microbial biosorbents for heavy metals removal. *Engineering in Life Sciences*, 18(12), 871-881. 2018. doi:<https://doi.org/10.1002/elsc.201800017>

VELKOVA, Z., KIROVA, G., STOYTCHIEVA, M., KOSTADINOVA, S., TODOROVA, K., & GOCHEV, V. Immobilized microbial biosorbents for heavymetals removal. *Engineering in Life Sciences*, 18(12), 871-881. 2018. doi:<https://doi.org/10.1002/elsc.201800017>

VERA, L., GARCÍA, N., UGUÑA, M., FLORES, M., GONZÁLEZ, E., & BRAZALES, D. Development of sorbent materials for removing heavy metals from mining

wastewater. *Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73(574), 135-139. Recuperado el 14 de setiembre de 2021, 2016. de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84986625326&origin=inward&txGid=6f893c0af99f4a8140a60c7342540653>

VERMA, J., KUMAR, D., SINGH, N., KATTI, S., & SHAH, Y. Electricigens and microbial fuel cells for bioremediation and bioenergy production: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1-36. 2021. doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-021-01199-7>

WAWRZKIEWICZ, M., BARTCZAK, P., & JESIONOWSKI, T. Enhanced removal of hazardous dye from aqueous solutions and real textile wastewater using bifunctional chitin/lignin biosorbent. *International journal of biological macromolecules*, 99, 754-764. 2017. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.023>

YIN, S., SHOW, P., FYE, B., CHANG, J., & CHUAN, T. New Prospects for Modified Algae in Heavy Metal Adsorption. *Trends in Biotechnology*, 37(11), 1255-1268. 2019. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.04.007>

YU, X., SUI, Q., LYU, S., ZHAO, W., LIU, J., CAI, Z., BARCELO, D. Municipal Solid Waste Landfills: An Underestimated Source of Pharmaceutical and Personal Care Products in the Water Environment. *Environ. Sci. Technol.*, 54(16), 9757-9768. 2020. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00565>

ZAFRA, C., & ROMERO, D. Technology Trends of Leachate Treatment in Ibero-American Landfills. *Revista Ingenierías*, 18(32), 125-147. 2019. doi:<https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a8>

ZHANG, S., DANG, J., LIN, J., LIU, M., ZHANG, M., & CHEN, S. Selective enrichment and separation of Ag(I) from electronic waste leachate by chemically modified persimmon tannin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104994. 2021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104994>

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de sistematización de artículos seleccionados

Nº	Autor/es y Año	País	Contenido de la investigación	Temática de la investigación
1	Alcázar-Medina, Núñez-Núñez, Villanueva-Fierro, Antileo, & Proal-Nájera (2020).	México	El aumento de la población junto con la adopción progresiva de un estilo de vida basado en la industria y el consumo, ha conducido inevitablemente a un mayor impacto antropogénico en la biosfera, lo que conduce a la contaminación ambiental	Presentación sobre contaminación ambiental
2	Abba, Yahaya, Ahmad, Ramírez-Moreno, & Yusuf (2020).	México	El control de la contaminación ambiental ha sido una preocupación en todo el mundo, causando gran preocupación la contaminación que se origina por las aguas residuales y los lixiviados	Presentación contaminación debido a aguas residuales y lixiviados
			Se considera que todavía está en desarrollo. Las normativas que limitan la eliminación de productos químicos y el aumento de los costos de los tratamientos físicos y químicos hacen que las tecnologías de biorremediación sean más más atractivas	Importancia de los metales pesados
3	Qayyum, Khan, Meng, Zhao, & Peng (2020)	China	Los lixiviados emanados de vertederos han sido considerados entre las principales fuentes de contaminación por metales pesados en el medio ambiente, que generan graves efectos tóxicos en los seres vivos	Comentario sobre lixiviados
4	Yu, Sui, Lyu, Zhao, Liu, Cai, Yu (2020)	Estados Unidos	La generación de residuos ha sido testigo de una tendencia creciente paralela al desarrollo de la industrialización, la urbanización y el rápido crecimiento de la población, lo que hace que el problema se convierta en uno de los principales problemas ambientales urbanos	Origen del problema
5	Kamaruddin, Yusoff, Rui, Isa, Zawawi, Alrozi, (2017)	Malasia	La gestión de los residuos sólidos urbanos generalmente se rige por el organismo municipal de la ciudad, que se denomina sector formal, el cual es el responsable de la recolección, transporte, procesamiento y eliminación de desechos	Gestión residual
6	Alghamdi, Aly, & Ibrahim (2021).	Arabia Saudita	Las prácticas de manejo y eliminación de desechos sólidos se han convertido en importantes preocupaciones ambientales y de salud pública en las áreas urbanas de muchos países en desarrollo debido a prácticas de manejo inadecuadas, prácticas inseguras de vertido a cielo abierto y administración desorganizada	Prácticas de manejo y eliminación de desechos
7	Sepúlveda, Tapia, Tapia, Milla, & Pavez (2020).	Chile	La biorremediación está ayudando a la humanidad y a la sociedad a lidiar con los residuos tóxicos y peligrosos, que pueden ser perjudiciales para la salud y el entorno, si no se eliminan o no se convierten en seguros.	Importancia de la biorremediación
			La biorremediación a través de la biosorción es el uso de organismos biológicos para resolver un problema medioambiental en suelos o aguas subterráneas contaminadas, es decir, se trata de una técnica para eliminar los contaminantes del medio ambiente y, de este modo, restaurar el entorno natural y evitar una mayor contaminación	Concepto de biorremediación

8	Amabilis-Sosa, Siebe, Moeller-Chávez, & Durán-Domínguez-De-bazúa (2016).	México	La biosorción es básicamente una técnica en la que se utilizan microorganismos para la gestión de residuos biológicos, utilizando a estos microorganismos para la eliminación de contaminantes de los entornos contaminados	Concepto de biosorción
9	Vera, García, Uguña, Flores, González, Brazales (2016).	Ecuador	La biosorción se utiliza para limpiar el suelo y el agua contaminados mediante el uso de agentes biológicos	Utilidad de la biosorción
10	Lieswito, Rinanti, & Fachrul (2019)	Irán	Sin embargo, aun hoy en día se practican ciertas técnicas convencionales como la incineración a alta temperatura, los métodos químicos y varias técnicas de descomposición más alta para limpiar sitios contaminados, estos procesos no conducen a la destrucción final de contaminantes	Técnicas convencionales erradas
11	Rojas & Galván (2018).	Ecuador	Por lo tanto, para superar estos problemas, los ambientalistas están buscando microbios como bacterias, hongos, algas, levaduras, cianobacterias, plantas verdes o sus enzimas, para remediar los contaminantes ambientales de los sitios contaminados	biosorbentes
12	Casteblanco (2018)	Colombia	En los procesos de biosorción interviene una biomasa constante de diversos organismos, vivos, inactivos o muertos, y sus productos, con varias estrategias para unir y concentrar metales pesados, como las bacterias (biosorción bacteriana), los hongos (micorremediación), las algas y/o plantas (fitoabsorción), rizosfera (rizorremediación), y biomoléculas derivadas de organismos (biorremediación derivada)	Proceso de biosorción
			La mayoría de las veces, la biosorción se aplica a la degradación de contaminantes en suelos saturados y aguas subterráneas, siendo el mejor método para tratar o limpiar entornos contaminados porque es más barato y utiliza organismos microbianos inofensivos para degradar las sustancias químicas.	Aplicación de la biosorción
			Se trata de un proceso biológico controlado mediante el cual los contaminantes se mezclan con el material contentivo de microorganismos autóctonos. Los suelos se excavan y se mezclan con agentes de carga y enmiendas orgánicas como virutas de madera, residuos animales, residuos vegetales (cascaras, pulpas, etc.), para aumentar la porosidad de la mezcla a descomponer.	Concepto de desechos industriales o agrícolas
13	Tuomela & Hatakka (2019).	Filandia	La biosorción se lleva a cabo mediante la adsorción o intercambio iónico, por tanto, puede producirse por sí misma, lo que constituye una atenuación natural, o puede producirse artificialmente añadiendo productos estimulados por los microbios	Característica de la biosorción
14	Bautista-Ramírez, Gutiérrez-Hernández, Nájera-Aguilar, Martínez-Salinas, Vera-Toledo, Araiza-Aguilar, J.; Méndez-Novelo, R.; Rojas-Valencia (2018)	Méxicana	La biomasa puede minimizar las concentraciones de los iones de metales pesados contenidos por agua y suelo, hasta alcanzar niveles de parte por billon (ppb), permitiendo la reutilización de desechos orgánicos provenientes de los procesos agrícolas e industriales	Característica de la biomasa
			Los metales pesados se clasifican en esenciales (Co, Zn, Cu, V, Fe, Mn, Mo, etc), puesto que cumplen funciones biológicas y en no esenciales (Cr, Hg, Cd, Pb, Sb, As, etc.), puesto que no cumplen ninguna función biológica conocida. Por cuanto los metales pesados poseen especiales características, se convierten en contaminantes potentes del medio ambiente (afinidad con grupos tiolicos, biodisponibles en medio acuoso, su estabilidad los hace	Clasificación de los metales pesados

			residuales en los ecosistemas, se bioconcentran en organismos acuáticos o terrestres, lo que afecta las cadenas alimenticias)	
15	Bibi, Manzoor, Azhar, Saeed, & Raheem (2019).	Pakistán	Sin embargo, hay que prestar más atención a la aplicación de la biosorción por sus efectos desconocidos en el ecosistema, dado que se añaden grandes cantidades de microbios degradantes a los lugares contaminados, por lo que una vez aplicado el biosorbente se debe confirmar que la biomasa ha desaparecido después de la adsorción sin afectar el suelo al que se le aplicó.	Aplicación de la biosorción
			La eficiencia de la tecnología de biosorción depende de la eficacia de los biosorbentes, su fácil disponibilidad y la rentabilidad de todo el proceso facilitan la propagación de su uso. La fácil disponibilidad de las fuentes biológicas, es decir, microorganismos como algas, hongos, hierbas, bacterias, levaduras y productos de desecho agrícolas, junto con su procesamiento rentable para obtener biosorbentes, ha dado lugar a la creación de una tecnología de biosorción madura y ampliamente extendida	Tipos de Biosorbentes
			Los microbios tienen la capacidad de prosperar en "condiciones adversas" de alta acidez, alcalinidad, toxicidad y temperatura. En condiciones favorables, estos degradan o transforman los contaminantes ambientales tóxicos en otros más simples e inofensivos	Capacidad de los microbios
			Los factores que limitan la eficacia de la degradación microbiana de los contaminantes orgánicos son numerosos. Además de la biodisponibilidad del propio contaminante, la baja temperatura, las condiciones anaeróbicas, los bajos niveles de nutrientes y co-substratos, la presencia de sustancias tóxicas y el potencial fisiológico de los microorganismos son especialmente importantes en los lugares contaminados	Importancia de los metales pesados
16	Flor, Peña, Martínez, Huerta, & Moya (2017).	España	Al utilizar los biosorbentes se aplica una técnica que se enfoca en un bajo costo, bajo mantenimiento, respetuoso con el medio ambiente y sostenible para la limpieza de lugares contaminados, además, de que trata el material contaminado en el sitio	Ventaja de los biosorbentes
17	Santana-Flores, y otros (2020).	México	La biosorción bacteriana se utiliza fundamentalmente para la expulsión de toxinas de los suelos contaminados con sustancias no biodegradables, como las partículas metálicas y los colorantes. No obstante, su confinamiento, tamizado y recogida en una escala mayor puede ser complicado, pero al mismo tiempo sigue siendo uno de los métodos para remediar las contaminaciones	Bacterias
18	Liu, Bilal, Duan, & Iqbal (2019)	China	Se utilizan diversas cepas bacterianas para la evacuación de diversas partículas metálicas, por ejemplo, algunas bacterias pueden ingerir el "cianuro" más tóxico de suelos y/o agua contaminados. Los microorganismos han desarrollado varios marcos productivos para desintoxicar las partículas metálicas; generalmente construyen estos componentes de oposición para su propia supervivencia	Bacterias
			Entre las bacterias utilizadas como biosorbentes se tiene: <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Pseudomonas mendocinas</i> , <i>Chromobacterium violaceum</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , entre otras.	Bacterias más utilizadas
19	Kumar, Nayak, & Agarwal (2016).	India	Los hongos han sido percibidos como un material prometedor de adsorbentes de bajo costo para la expulsión de iones de metales pesados contenidos en los lixiviados. La capacidad de	Hongos

			<p>los numerosos tipos de crecimientos para suministrar sustancias químicas extracelulares para la digestión de almidones complejos para la hidrólisis previa hace hábil la corrupción de diferentes grados de contaminaciones</p>	
			<p>El proceso de biosorción está influido por varios factores: la existencia de una población microbiana específica, la biodisponibilidad de los contaminantes y los factores ambientales (tipo de suelo, temperatura, pH, nutrientes y presencia de oxígeno u otros aceptores de electrones). La elección de los métodos en cada tecnología requiere una cuidadosa consideración</p>	<p>Importancia de los metales pesados</p>
20	<p>Frutos, García-Delgado, Gárate, & Eymar (2016).</p>	<p>España</p>	<p>Asimismo, tienen la ventaja de ser moderadamente poco complicados de desarrollar en fermentadores; de este modo, son adecuados para la creación a gran escala. Otra ventaja es la sencilla separación de la biomasa de su estructura filamentosa por filtración a la luz. En contraste con las levaduras, los crecimientos filamentosos son menos sensibles a las variedades de suplementos, la circulación del aire, el pH y la temperatura, y tienen un menor contenido nucleico en la biomasa. Sin embargo, los biosorbentes fúngicos que incluyen levaduras (<i>Penicillium</i>, <i>Saccharomyces</i>), mohos (<i>Aspergillus</i>, <i>Rhizopus</i>) y hongos han mostrado el menor potencial de biosorción.</p>	<p>Hongos</p>
21	<p>Saavedra, Madera-Parra, Peña, Cerón, & Mosquera (2018).</p>	<p>Colombia</p>	<p>Las algas son biosorbentes productivos y de bajo costo, ya que el requisito previo del suplemento por crecimiento verde es menor, se ha contabilizado que el crecimiento verde ingiere alrededor del 15-85%, que es más alto cuando se contrasta con otros biosorbentes microbianos</p>	<p>Algas</p>
22	<p>Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers (2019).</p>	<p>Irak</p>	<p>En todos los tipos de crecimiento verde, el de color oscuro es conocido por tener un alto límite de ingestión. La biosorción de partículas metálicas se produce en la superficie de la célula por métodos de la técnica de intercambio de iones. Las algas marinas de color oscuro tienen la capacidad de ingerir metales como el níquel, el plomo y el cadmio a través de racimos de sustancias en su superficie, por ejemplo, carboxilo, sulfonato, amino y también sulfhidrilo. Las algas <i>Cyanophyceae</i> y <i>Bacillariophyceae</i> muestran gran eficiencia de remoción, pero esta cambia sustancialmente dependiendo del tipo de metal biosorbido, en lugar del tipo de biomasa de algas.</p>	<p>Tipos de Algas</p>
	<p>Abdelkareem, Alwared, Al-Musawi, & Brouers (2019)</p>		<p>Las plantas capaces de descontaminar los suelos realizan un proceso en el que absorben el contaminante de las partículas o del líquido del suelo en sus raíces; fijan el contaminante en su tejido radicular, física o químicamente; transportan el contaminante desde sus raíces a los brotes en crecimiento e impiden la lixiviación del contaminante fuera del suelo.</p>	<p>Plantas</p>
23	<p>Covarrubias & Cabriales (2017).</p>	<p>México</p>	<p>Las plantas involucradas en procesos de biosorción también están adaptadas para prosperar en condiciones ambientales muy duros y absorber, tolerar, transferir, asimilar, degradar y estabilizar contaminantes tóxicos como metales pesados, radionucleidos, solventes, petróleo crudo, pesticidas, explosivos, compuestos clorados e hidrocarburos poliaromáticos de los sitios contaminados</p>	<p>Plantas</p>
			<p>Los tipos de plantas que crecen en la zona contaminada influyen en la cantidad, la diversidad y la actividad de las poblaciones microbianas. Esta técnica se aplica en suelos y aguas ligeramente contaminados donde el material a tratar se encuentra a poca o media profundidad y el área a tratar es grande.</p>	<p>Tipos de plantas</p>

24	Kusrini, Usman, Sani, Wilson, & Abdullah (2019).	Canada	La biosorción se realiza a través de un compostaje elaborado con residuos de procesos agrícolas o industriales como subproductos agrícolas como la cáscara de arroz, el salvado de arroz, el trigo, el bagazo de caña de azúcar, los residuos de frutas, las malas hierbas, etc. El compostaje es un proceso de tratamiento aeróbico y termófilo en el que el material contaminado se mezcla con un compost rico en microorganismos biosorbentes	Desechos industriales o agrícolas
25	Cota-Ruiz, Nuñez-Gastelúm, Delgado-Rios, & Martínez-Martínez (2019).	México	Los organismos microbianos generados por la descomposición de estos residuos pueden desplazarse a una zona que contenga contaminantes. Por lo tanto, la biosorción se convertirá en un método más seguro para degradar las sustancias químicas o compuestos nocivos	Desechos industriales o agrícolas
26	Velkova, Kirova, Stoytcheva, Kostadinova, Todorova, Gochev (2018)	México	Los biorreactores se pueden utilizar para tratar efluentes líquidos (lodos) o residuos sólidos contaminados (suelo). El tratamiento biológico en biorreactores ofrece los beneficios de la degradación bajo parámetros controlados con un sistema de monitoreo continuo	Biorreactores biológicos (lodo humidificado)
27	Heiderscheidt, Postila, & Leiviskä (2020).	Finlandia	Además, la biorremediación en reactores implica el procesamiento de material sólido contaminado (suelo, sedimento, lodo) o agua a través de un sistema de ingeniería	Implicaciones de los Biorreactores biológicos (lodo humidificado)
28	Gede, Friatnasary, Khoiruddin., Setiadi, & Boopathy (2020).	Indonesia	Un biorreactor de lodos puede definirse como un aparato de recipiente de contención utilizado para crear una condición de mezcla trifásica (sólido, líquido y gas) para aumentar la biorremediación de los contaminantes ligados al suelo y solubles en agua, ya que el suelo contaminado y la biomasa es capaz de degradar los contaminantes	Definición de Biorreactores biológicos (lodo humidificado)
29	Mathew, Jaishankar, Biju, & Beeregowda (2016).	India	La contaminación por metales pesados en el medio ambiente es una preocupación mundial importante, debido a la toxicidad y la amenaza para la vida humana y el ecosistema. Los niveles de metales en el medio ambiente están aumentando en algunos casos a niveles tóxicos, con contribuciones de una amplia gama de fuentes industriales y domésticas	Metales pesados
30	Díaz, Cervantes, Cervantes, & Torres (2016).	Chile	La acumulación de metales pesados, como material no biodegradable, no solo disminuye la actividad microbiana del suelo junto con la producción de cultivos, sino que también amenaza la salud humana debido a su persistencia en el curso de la cadena alimentaria. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no son biodegradables y, por tanto, persisten durante mucho tiempo en el medio ambiente	Causas de la contaminación por metales pesados
31	Medina Valderrama, Montero del Águila, & Cruz Pio (2016).	Perú	Estos son de naturaleza altamente tóxica y causan serios problemas ambientales y peligros para la salud en humanos, animales y plantas. Los ambientes contaminados con metales representan una amenaza significativa para la salud y los ecosistemas.	Naturaleza de los metales pesados
32	(Fuentes-Hernández, Sanguinetti-Gamboa, & Astudillo, 2019).	Venezuela	Los metales pesados, incluidos el arsénico, el cadmio, el plomo, el mercurio, la plata, etc., causan hipofosfatemia, enfermedades cardíacas y daños al hígado, cáncer y enfermedades neurológicas y cardiovasculares. Daño del sistema nervioso central y alteraciones sensoriales.	Tipos de metales pesados
33	Bilal, Rasheed, Nabeel, Iqbal, & Zhao (2019).	China	La concentración de metales está relacionada con discapacidades congénitas, cánceres, lesiones cutáneas, retraso que conduce a discapacidades, daño hepático y renal y una serie de otras enfermedades.	Consecuencias de la contaminación por metales pesados

			Es bien sabido que la biorremediación a través del uso de los biosorbentes es una tecnología emergente e interdisciplinaria que involucra conocimientos de ingeniería química y bioquímica, ecología, estadística, microbiología, propiedades químicas y bioquímicas, y geología.	Importancia de los metales pesados
34	(Porras, Contreras, & Ortega, 2018).	Colombia	Por lo tanto, casi todos los metales pesados se denominan metales tóxicos. Los metales pesados se reconocen relativamente como contaminantes inorgánicos de alta densidad, que comprenden un 75% de elementos conocidos y son tóxicos a bajas concentraciones.	Características de los metales pesados
35	(Inoue, Parajuli, Ghimire, Biswas, Kawakita, Oshima, Ohto (2017)	España	Estos metales se han utilizado desde el comienzo de la antigua civilización humana y se agregan constantemente al suelo, el agua y, finalmente, la biosfera a través de una rápida modernización e industrialización en todo el mundo a través de la fundición de la industria de acabado de superficies metalíferas, la combustión de fósiles, la galvanoplastia, fotografía, dispositivos eléctricos, manufactura, aeroespacial, incineración de residuos, transporte, minería, aplicaciones agrícolas, etc.	Utilización de los metales pesados
36	Shanshan & Yanqing (2020).	China	Varios metales pesados nocivos presentes en diferentes estados de oxidación como zinc (Zn), arsénico (As), cromo (Cr), cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu), níquel (Ni) y plomo (Pb); elementos radiactivos como uranio y estroncio; así como compuestos orgánicos como trinitrotolueno, 1,3,5-trinitro-1,3,5-hexahidrotiazina, hidrocarburos de petróleo (benceno, tolueno, xileno, etc.) debido a su naturaleza no biodegradable, son difíciles de eliminar del medio ambiente	Dificultad para la Eliminación de los metales pesados
37	Moreno-Benavides, Peña-Salamanca, Benites-Campo (2019)	Colombia	Los metales pesados se vuelven extremadamente tóxicos si su concentración excede cierto umbral. Por tanto, hay que tener en cuenta que no todos los metales pesados pueden eliminarse mediante procesos de biorremediación.	Dificultad para la Eliminación de los metales pesados
38	Incahuanaco, Montalván, & Dávila (2021).	Perú	Los metales pesados son componentes con pesos atómicos, números atómicos y densidades superiores a 44.956, 20 y 5gr/cm ³ , respectivamente, a excepción de los grupos alcalinotérreo, alcalino, actínidos, lantánidos.	Concepto de metales pesados
39	Páez, Del Socorro Bravo, Peinado, & Flores (2016).	España	También hay que tener en cuenta la reticencia del público a aceptar los organismos modificados como biosorbentes, los cuales deben demostrar que no son tóxicos para el medio ambiente. Las tecnologías de biorremediación se han empleado con éxito en el campo y están adquiriendo cada vez más importancia con la creciente aceptación de soluciones de remediación ecológicas.	Importancia de los metales pesados
40	Singh, Kumar, Datta, Dhanjal, Daljeet, Sharma, Samuel, Singh (2020)	China	El uso de biosorbentes es ventajoso sobre los adsorbentes convencionales, la arcilla, quitina, turba, biomasa microbiana y los desechos agrícolas son biosorbentes de uso común utilizados ampliamente para la eliminación de colorantes, metales pesados pesticidas y demás contaminantes tóxicos.	Importancia de los metales pesados



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, GONZALES SULLCARAY EVELIN, SILVA SILUPU DIANA ELIZABETH estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Tipos de Biosorbente de Metales Pesados de lixiviados en un vertedero: Revisión Sistemática", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
GONZALES SULLCARAY EVELIN DNI: 72957552 ORCID 0000-0001-8054-2720	Firmado digitalmente por: GEGONZALESG el 06-01-2022 15:35:26
SILVA SILUPU DIANA ELIZABETH DNI: 71124336 ORCID 0000-0002-9722-614X	Firmado digitalmente por: DSILVASI el 06-01-2022 18:01:09

Código documento Trilce: INV - 0590753