



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Método de Biolixiviación Mediante la Aplicación de Hongos
Filamentosos en Diversas Fuentes de Contaminación: Revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Pacsi Achahui, Miguel (ORCID: 0000-0003-2173-900X)
Cañari Diaz, Jesus Jhovanni (ORCID: 0000-0002-6860-4850)

ASESOR:

Mg. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID: 0000 – 0003 – 3202 – 1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada en primer lugar a Dios ya que nos ha protegido durante este camino profesional y nos ha fortalecido espiritualmente para poder cumplir nuestras metas trazadas día a día.

Así mismo también agradecer a nuestros padres: Nicasio Pacsi J. y Faustina Achahui G. a Florentino Cañari M. y Mery S. Diaz CC. Por impulsarnos continuamente en nuestra vida de formación profesional, inculcándonos valores y brindándonos su apoyo en cada etapa de nuestra vida es por ello que este logro se los dedicamos a ustedes queridos padres.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la universidad cesar vallejo en especial a la escuela profesional de ingeniería ambiental, que gracias a la enseñanza de sus docentes forman profesionales en ingeniería ambiental.

Al Magister Cesar Francisco Honores Balcazar, quien fue nuestro asesor, por guiarnos en el desarrollo de la tesis.

Asi como también nuestro mas grande agradecimiento a nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente en todo este camino y motivándonos a ser mejores profesionales cada día como unas personas con valores y virtudes.

A nuestros jurados del presente trabajo de investigación, por su apoyo profesional incondicional en la etapa de culminación del trabajo, por sus valioso concejos y observaciones como jurados del presente proyecto de investigación.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas.....	viii
Resumen	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación	12
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	12
3.3. Escenario de estudio.....	14
3.4. Participantes	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.6. Procedimiento	14
3.7. Rigor científico	16
3.8. Método de análisis de información	16
3.9. Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
V. CONCLUSIONES	25
VI. RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIAS	27
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Contaminantes importantes del agua superficial y sus impactos</i>	3
<i>Tabla 2. Matriz de Categorización Apriorística</i>	13
<i>Tabla 3. Fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación</i>	18

Índice de figuras

<i>Figura 1. Contaminación por las Industrias</i>	5
<i>Figura 2. Emisiones de una familia estadounidense de 4 personas</i>	6

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimiento de selección de artículos</i>	5
<i>Gráfico 2. Porcentaje comparativo de la cepa fúngica más usada</i>	20
<i>Gráfico 3. Clasificación de las fuentes de contaminación</i>	22
<i>Gráfico 4. Promedio de la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas</i>	23

Índice de abreviaturas

REE	: Elementos de tierras raras
OMS	: Organización Mundial de la Salud
PCB	: Placas de circuito impreso
DDT	: Diclorodifeniltricloroetano
NO	: Óxidos de nitrógeno
DBO	: Demanda biológica de oxígeno

Resumen

Este estudio de investigación tuvo como objetivo analizar cuál es la fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos. La metodología usada fue de tipo aplicada de diseño narrativo.

Se obtuvo que, la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación es la cepa fúngica *Aspergillus* con un promedio de aplicación del 85% ello debido a su potente agente lixivante; seguido de *Fusarium*, *Penicillium* y *Cladosporium* con un 5% en los tres géneros. Además, el metal más extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación es el Al siendo este el proveniente de las fuentes de los residuos de minerales, una de las fuentes más estudiadas. Ello porque, la mayoría de los residuos de minerales contienen altas concentraciones de minerales sulfurados compuestos principalmente por metales como Ni, Fe, Cu, Pb, Hg, Zn y Cd; siendo entre los metales de este tipo de fuente el más extraídos el Al. Por último, la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas presenta una línea de tendencia ascendente, donde el promedio de la capacidad de lixiviación es de 50 a 100%.

Palabras clave: Biolixiviación, hongos filamentosos, contaminación, minería, fúngico

Abstract

The objective of this research study was to analyze which is the source of contamination in which the bioleaching methods by means of the application of filamentous fungi show better results. The methodology used was of the applied narrative design type.

It was obtained that the most used fungal strain in the bioleaching method is the *Aspergillus* fungal strain with an average application rate of 85% due to its potent leaching agent; followed by *Fusarium*, *Penicillium* and *Cladosporium* with 5% in the three genera. In addition, the most extracted metal in the different sources of contamination where the bioleaching method is applied is Al, which comes from the sources of mineral residues, one of the most studied sources. This is because most of the mineral residues contain high concentrations of sulfide minerals composed mainly of metals such as Ni, Fe, Cu, Pb, Hg, Zn and Cd; Al being the most extracted among the metals of this type of source. Finally, the leaching capacity of the fungal strains presents an ascending trend line, where the average leaching capacity is from 50 to 100%.

Keywords: bioleaching, filamentous fungi, contamination, mining, fungus.

I. INTRODUCCIÓN

Cualquier alteración en el estado ambiental de los suelos o en la calidad del agua afectará inadvertidamente no solo al cuerpo de agua, sino también a la población humana de las áreas adyacentes (Bhateria R. et al., 2016, p.2). Por ejemplo, el uso humano de las aguas de los lagos, como el suministro de agua potable, el riego, la pesca y la generación de energía limpia, tiene un impacto en la economía mundial (Duan Z. et al., 2016, p.1).

El agua natural como el recurso suelo pueden verse afectado por diversos contaminantes debido a fuentes naturales como la meteorización de las rocas, la lixiviación de los suelos, pero también por fuentes antropogénicas como el procesamiento de la minería, desechos electrónicos, desechos sólidos mineros, entre otros (Long Z. et al., 2021, p.2).

Pero, entre los diversos tipos de contaminantes, los metales pesados son motivo de gran preocupación, dada no solo la amplia gama de compuestos con efectos multifacéticos en los ecosistemas, sino también sus diversas vías de entrada (Kumar P. et al., 2022, p.1).

Los relaves contienen cantidades dañinas de sustancias tóxicas que potencialmente pueden plantear serios problemas ambientales y de salud a través de la dispersión en el aire de relaves secados al aire, lixiviación de especies químicas potencialmente tóxicas, erosión y absorción por el sistema acuático y bioacumulación (Uugwanga Mn. et al., 2020, p.1). Así también, los sitios de desechos electrónicos son ricos en metales pesados contenidos en los desechos de equipos electrónicos y eléctricos y presentan un riesgo de contaminación si los metales ingresan al medio ambiente cercano (Sultan M. et al., 2021, p.2).

Ante ello, viene despertando interés los estudios destinados al procesamiento de elementos de tierras raras (REE), minerales de baja ley, desechos urbanos, relaves mineros, catalizador gastado y desechos electrónicos a través de métodos más bioamigables, económicos y efectivos para la recuperación de metales han recibido considerable atención (Benzal E. et al., 2020, p.1).

Siendo los hongos filamentosos a través de la biolixiviación, quienes son capaces de solubilizar metales a través de la secreción de ácidos orgánicos mientras toleran sus altas concentraciones (Kumar A. et al., 2016, p.2).

Por tal motivo, ante lo mencionado anteriormente se plantea como problema de estudio: **¿Cuál es la fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los**

métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos?, de lo cual se va a desarrollar las siguientes preguntas:

PE1: ¿Cuál es la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación?

PE2: ¿Cuál es el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos?

PE3: ¿Cuál es la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación?

Además, bajo lo mencionado se tiene el siguiente objetivo general: **Analizar cuál es la fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos;** y como objetivos específicos:

OE1: Definir cuál es la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación

OE2: Determinar cuál es el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos

OE3: Clasificar cuál es la capacidad de lixiviación de las cepas fungicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación

Este estudio va examinar diversas literaturas de los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación para determinar su eficiencia mediante la comparación de estudios, por lo cual este trabajo presenta una justificación teórica; centrándose la atención en los futuros investigadores para que se desarrollen aplicaciones mejoradas de tecnología de biolixiviación; con la finalidad de poder de esta manera contribuir con la sociedad y la reducción de la contaminación con métodos viablemente económicos.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación se ha convertido en un problema grave y se deriva de diferentes fuentes naturales y antropogénicas (Singh N. et al., 2022, p.1). De igual forma, se puede dividir en fuentes puntuales como centrales eléctricas, refinerías, minas fábricas, etc y fuentes no puntuales como automóviles, autobuses, trenes (Schweitzer L. et al., 2018, p.1).

En China había aproximadamente 60 empresas productoras de plaguicidas, el cual producía 459,000 TN de diclorodifeniltricloroetano (DDT) (diclorodifeniltricloroetano), 20,660TM de Toxafeno y 79,278 TM de HCB (hexaclorobenzeno) en los años 1990-2003 (Yu S. et al., 2019, p.163). En la actualidad DDT y el HCH aún se pueden detectar en el aire, el agua, los sedimentos, el suelo de campo, los cereales, las verduras, las frutas, la carne, los animales y los tejidos humanos en muchas zonas (Wang S. et al., 2022, p.1).

Igualmente, se realizó una investigación el río Amazonas en Perú, por la contaminación de petróleo y gas las cuales son explotadas desde la década del 1930 (Rosell-Melé A. et al., 2018, p.1). Esta situación, afecta a la mayoría de los bosques tropicales del mundo en el sudeste asiático, África central y Sudamérica (Yusta G. et al., 2017, p.370).

Los contaminantes se clasifican en dos tipos: primarios y secundarios. Los contaminantes primarios se emiten directamente desde la fuente y los contaminantes secundarios se forman cuando los contaminantes primarios reaccionan químicamente en la atmósfera (Chen Y. et al., 2021, p.375).

Para la contaminación del agua, los efectos de las fuentes de contaminación (Ver tabla N°1), son múltiples y dependen del tipo y la concentración de los contaminantes (Muralikrishna I. et al., 2017, p.1). También, los productos orgánicos solubles, representados por los residuos de alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), provocan el agotamiento del oxígeno en las aguas superficiales (Kulshrestha U. et al., 2022, p.55).

Tabla N°1. Contaminantes importantes del agua superficial y sus impactos

Contaminantes	Razón de importancia
Color y olor	Estéticamente no aceptable. Efecto laxante.
Sólidos suspendidos	Los sólidos en suspensión pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas cuando se descargan aguas residuales sin tratar en el medio acuático.
Orgánicos biodegradables	Compuestos principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, se miden más comúnmente en términos de DBO (demanda bioquímica

Contaminantes	Razón de importancia
	de oxígeno), y la estabilización de la demanda química de oxígeno (DQO).
Patógenos	Las enfermedades transmisibles pueden ser transmitidas por los organismos patógenos en las aguas residuales.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se descargan en el medio ambiente acuático, estos nutrientes pueden provocar el crecimiento de vida acuática indeseable.
Contaminantes prioritarios	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o alta toxicidad aguda conocida o sospechada.
Orgánicos refractarios	Estos compuestos orgánicos tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.
Metales pesados	Los metales pesados generalmente se agregan a las aguas residuales de las actividades comerciales e industriales y es posible que deban eliminarse si se van a reutilizar las aguas residuales.
Inorgánicos disueltos	Los componentes inorgánicos como el calcio, el sodio y el sulfato se agregan al suministro de agua doméstico original como resultado del uso del agua.
Gases	Descomposición de desechos domésticos. Infiltración de aguas superficiales de abastecimiento de agua doméstica. La descomposición por bacterias aeróbicas reduce el nivel de oxígeno disuelto en el agua.

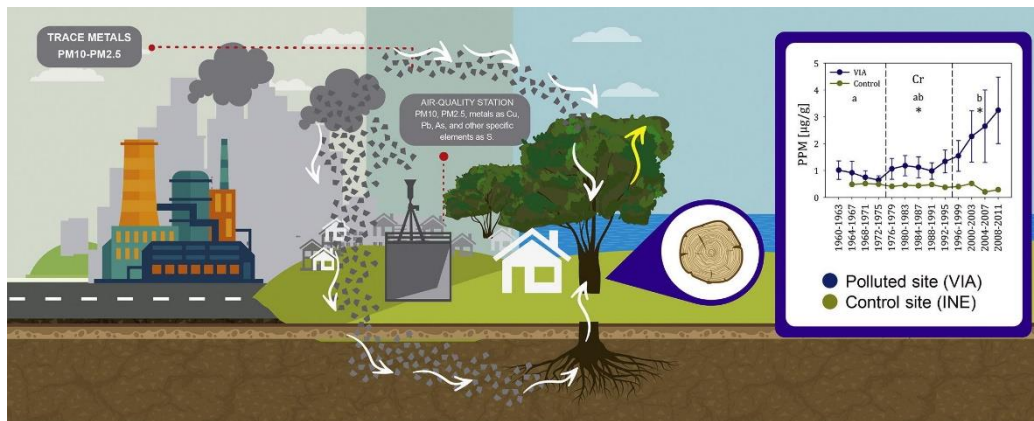
Fuente: kulshrestha U. et al., (2022)

Para el aire, la exposición a la contaminación es uno de los principales factores de riesgo a nivel mundial, según el OMS (Organización Mundial de la Salud) más del 80% de las personas que viven en áreas urbanas están expuestas a una mala calidad del aire (Srivastava A. et al., 2022, p.1)

La contaminación del suelo causa efectos drásticos en todos los organismos vivos, las fuentes principales son el consumo de combustibles fósiles, la incineración de residuos sólidos y los procesos industriales como la fundición de minerales (Iqbal N. et al., 2019, p.531). Muchos compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos pueden provocar enfermedades en los animales y los seres humanos (Abu E. et al., 2017, p.1).

Para las industrias emiten diversos contaminantes sólidos los cuales son los principales responsables de la contaminación del agua, aire, suelo, calentamiento global y efectos sobre la salud humana (Senthilkumar K. et al., 2020, p.1). Ver Figura N°1.

Figura N°1. Contaminación por las Industrias



Fuente: Muñoz A. et al., 2019

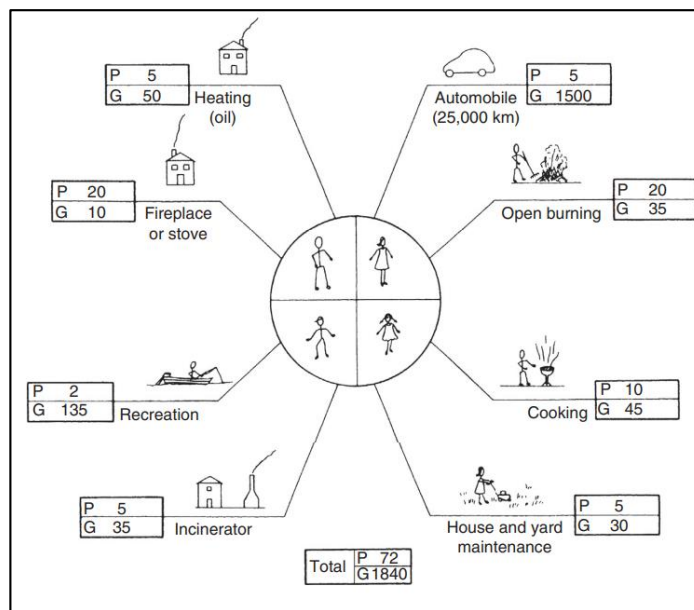
En el caso de la contaminación industrial en el agua, vertidos por las industrias y fábricas tienen concentración tóxica predominante (Gautam R. et al., 2019, p.451). A gran escala incluyen altas cargas de metales pesados (particularmente plomo, mercurio y cadmio), aceite y grasa, demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos en suspensión, que afectan a todos los componentes de los ambientes fluvial y marino (Sany S. et al., 2019, p.437).

Igualmente, la contaminación industrial en el suelo se produce debido a la eliminación sin tratamiento de los desechos industriales (Zhang Y. et al., 2018, p.1). Estos tienen diferentes cantidades de contenidos tóxicos y químicos peligrosos, de modo que cuando se depositan en suelo, afectan la fuerza de la capa del suelo en la parte superior del suelo (Tamboli E. et al., 2019, p.409). Ya que, estos contaminantes reducen la fertilidad y la actividad biológica del suelo, también conduce a desequilibrios ecológicos, lo que crea problemas en la producción de cultivos (Roberto S. et al., 2021, p.523).

De igual manera, la contaminación industrial en el aire, su principal causa se debe principalmente al rápido aumento de las industrias/fábricas, las emisiones de varias industrias tienen contaminantes como el metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO) y dióxido de carbono (CO₂) (Guo Y. et al., 2016, p.60). De igual forma, si estos gases están muy presentes en la atmósfera, crean repetidamente varias enfermedades tóxicas y riesgos peligrosos para el medio ambiente (Leogrande S. et al., 2019, p.1).

Algunos de los efectos de estos gases son la formación de lluvias ácidas, la presencia de smog, el aumento de los trastornos respiratorios entre los seres humanos (Cong X. et al., 2018, p.1). Ilustra las emisiones de una familia de EEUU donde P = Material particulado en Kg por año, G = contaminantes en fase gaseosa en kg por año (Ver Figura N°1).

Figura N°2. Emisiones de una familia estadounidense de 4 personas



Fuente: Vallerdo D et al, (2015)

De mismo modo, la contaminación industrial con efecto invernadero, liberan una mezcla de gases de efecto invernadero junto con el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) (Sharma P. et al., 2022, p.1). En el medio ambiente estos gases liberados absorben la radiación térmica del sol, por lo que la temperatura normal de la tierra se incrementa provocando el calentamiento global (Reichle D. et al., 2020, p.1).

Los desechos industriales no tratados son responsables de miles de enfermedades como el cáncer, envenenamiento de células humanas, etc y muertes prematuras en todo el mundo, por ejemplo, el arsénico inorgánico causa la formación de tumores en la salud humana (Lavigne E. et al., 2017, p.1).

Por otro lado, la principal causa ambiental de mortalidad y morbilidad infantil en todo el mundo está relacionada con la contaminación del aire (Landrigan P. et al., 2018, p.462). En los países en desarrollo obtienen energía de fuentes naturales para objetivos comerciales e industriales, pero no disponen de tecnologías suficientes para disminuir la posible contaminación (Alvarado C. et al., 2018, p.212). Se tiene problemas de salud como cardiopulmonar como infarto de miocardio, insuficiencia cardíaca, accidentes cerebrovasculares y respiratoria como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón (Cohen A. et al., 2017, p.1).

Además, la exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica podría inducir el estrés oxidativo y la inflamación, lo que provoca lesiones y disfunciones en las vías

respiratorias (Karimi B. et al., 2020, p.3). Debido a la etapa de crecimiento de los lactantes (0-1 años de edad) los hace más vulnerables a la contaminación del aire (Gouveia N. et al., 2018, p.385).

Los hongos filamentosos son heterótrofos capaces de solubilizar metales a través de la secreción de ácidos orgánicos mientras toleran sus altas concentraciones. (Borja D. et al., 2016, p.128). Esto se debe a las reacciones acidólisis, bioacumulación, quelatos y mecanismos de formación de complejos (Benzal E. et al., 2020, p.1). Sin embargo, algunos de estos hongos pueden fermentar una amplia gama de sustratos y producir una variedad de productos metabólicos, incluido el etanol (Chaves A. et al., 2020, p.104).

Este grupo de microorganismos también tiene una larga producción de antibióticos y ha salvado muchas vidas desde el descubrimiento de la penicilina (Issa A. et al., 2019, p.1). En general, las células fungicidas tienen como principal característica la gran capacidad para secretar grandes cantidades de proteínas, metabolitos y ácidos orgánicos en su medio de crecimientos (Siddiqui S. et al., 2016, p.257).

La biolixiviación involucra la utilización de organismos vivos (principalmente microorganismos) para extraer o movilizar ex situ metales que generalmente están presentes en bajas concentraciones o son “difíciles de manejar o tratar” en ciertas rocas económicas, suelos o desechos sólidos (Isildar A. et al., 2018, p.241). En otra palabra, la biolixiviación significa “la conversión de valores de metales sólidos en sus formas solubles en agua mediante el uso de microorganismos” para que “los elementos puedan extraerse de un material cuando el agua se filtra a través de él” (Darwesh O. et al., 2021, p.285).

Después de lo expuesto se detalla los estudios a nivel mundial que aplicaron métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos:

Huerta Rosas B. et al., (2020); en su trabajo científico describe la caracterización de microorganismos quimioorganotróficos autóctonos de los relaves de una mina de plata ubicada en Coahuila, México, en cuanto a su capacidad para remover manganeso y plata presentes en estos residuos por lixiviación. Las cepas bacterianas y fúngicas aisladas se identificaron secuenciando las regiones genómicas rDNA 16S e ITS-1-ITS-2, respectivamente; las cepas bacterianas corresponden a aislamientos de *Roseospira* sp. y *Sphingomonas* sp., mientras que las cepas fúngicas incluyen aislamientos de *Cladosporium* sp. A, *Cladosporium* sp. B y *Penicillium chrysogenum*. Estas cepas fúngicas muestran una capacidad efectiva para lixiviar

manganeso y plata de residuos sólidos de mina cuando se incuban en medio de 9 k; se encontró que, bajo estas condiciones, la lixiviación de metales ocurre debido a un proceso mixto biótico-abiótico, que produce eficiencias de lixiviación de manganeso y plata en los rangos de 58–74% y 40–67%, respectivamente. Concluyendo que las cepas fúngicas cultivadas en el medio LMM y las cepas bacterianas incubadas en el medio PDB provocaron la lixiviación de manganeso con una menor eficiencia en el rango de 0,17 a 0,24 % y 1,42 a 1,73 %, respectivamente.

Arshadi m. et al., (2019); en su trabajo científico el objetivo principal es encontrar un sustrato de carbono alternativo adecuado en lugar de sacarosa para la biolixiviación por hongos de Ni y Cu en placas de circuito impreso (PCB) de teléfonos móviles utilizando *Penicillium simplicissimum*. Se seleccionaron cuatro tipos de fuentes de carbono (incluyendo sacarosa, suero de queso, azúcar y melaza de caña de azúcar). Además, el pH y el número de esporas en el inóculo se optimizaron mediante metodología de superficie de respuesta (RSM) para todas las fuentes de carbono. Los resultados mostraron que no es posible la máxima recuperación simultánea de Cu y Ni. Para la recuperación de Cu, el azúcar es el mejor medio económico y simple en lugar de la sacarosa. Máxima recuperación de Cu (90%) obtenida al pH de 7, $3,3 \times 10^7$ esporas, y en azúcar. Concluyendo que las fuentes de carbono no convencionales mejoran la eficiencia de la biolixiviación y la posibilidad de industrialización.

Borja Danilo et al., (2016); en su artículo aborda el estado del arte de la investigación sobre biolixiviación. Clasificó las fuentes de metales objetivo de la siguiente manera: relaves mineros, desechos electrónicos, minerales y concentrados de metales, catalizadores usados, suelo contaminado y otros materiales y la clasificación proporcionada en el presente manuscrito detalla información sobre especies microbianas, parámetros de operación (p. ej., temperatura, tamaño de partícula, pH y duración del proceso) y metales objetivo para comparar las recuperaciones entre los procesos de biolixiviación. Donde los hallazgos muestran un creciente interés en la tecnología por parte de los institutos de investigación y las empresas relacionadas con el procesamiento de minerales durante la última década.

Sun Jing et al., (2020); en su estudio presenta como objetivo estudiar los impactos de los parámetros operativos en el desempeño de la biolixiviación de uranio de gránulos de biomineral formados por *Aspergillus niger*, donde los cambios morfológicos de las partículas de mineral antes y después de la biolixiviación se caracterizaron mediante

microscopio electrónico de barrido. Dando como resultado que la recuperación de uranio de más del 80% se logró en condiciones optimizadas; además los resultados mostraron que se generaron más superficies reactivas por la envoltura y adherencia de los micelios y la corrosión de los metabolitos. Por último, las estructuras tridimensionales de los gránulos de biomineral se detectaron mediante tomografía nanocomputarizada de campo completo de rayos X. Pudiendo concluir mediante los resultados mostrados que los gránulos de biomineral con estructura bicapa en la que el micelio y las partículas de mineral se distribuyeron uniformemente presentaron una capacidad preferible de biolixiviación de uranio.

Madrigal Arias J. et al., (2016); en su investigación evaluó a eficiencia de biolixiviación de oro (Au), cobre (Cu) y níquel (Ni) por dos cepas de *Aspergillus niger* en presencia de circuitos integrados de dedos chapados en oro que se encuentran en las placas base de las computadoras (GFICM) y en las placas de circuito impreso (PCB) de los teléfonos celulares. Estos tres metales fueron analizados por su valor comercial y sus diversas aplicaciones en la industria. La biolixiviación de Au varió de 42 a 1% para la cepa MXPE6 de *Aspergillus niger* ; con la combinación de *Aspergillus niger* MXPE6 + *Aspergillus niger*MX7, la biolixiviación de Au fue de 87 y 28% para PCB y GFICM, respectivamente. En contraste, la biolixiviación de Cu por *Aspergillus niger* MXPE6 fue de 24 y 5%; usando la combinación de ambas cepas, los valores fueron 0,2 y 29% para PCB y GFICM, respectivamente.

Qu Yang et al., (2016); en su estudio examinó la biolixiviación de metales valiosos (Ga, Ge, V, Sc, La, Eu, Yb) del lodo rojo. Se implementaron experimentos de lixiviación por lotes y continuos utilizando hongos filamentosos, *Aspergillus niger*. Los resultados de la lixiviación mostraron que había una fuerte relación negativa entre la biomasa y el valor de pH. En la prueba de lixiviación por lotes, el mejor rendimiento de lixiviación se logró en el proceso de medio gastado con una densidad de pulpa del 2 %. Y en la prueba de lixiviación continua, el sistema puede alcanzar un estado estable a altas densidades de pulpa de lodo rojo (10 %) con un valor de pH inferior a 3,0. En comparación con la lixiviación de ácidos orgánicos e inorgánicos, el modo de lixiviación continua que produce ácidos orgánicos a través del glucometabolismo mediante el uso de *A. niger* es rentable a escala de laboratorio.

Khan L. et al., (2019); presentó como objetivo principal aislar, identificar y probar el potencial de las cepas de hongos autóctonos para la eliminación de metales pesados del

suelo contaminado. Se aislaron e identificaron un total de tres cepas fúngicas metalotolerantes, es decir, *Aspergillus niger* (M1DGR), *Aspergillus fumigatus* (M3Ai) y *Penicillium rubens* (M2Aii), mediante fenotipado y genotipado del suelo contaminado con metales pesados de Hattar Industrial Estate, Pakistán. *un _ Nígerse* encontró que era la cepa más exitosa para la remoción de metales pesados del suelo contaminado con una eficiencia de bioacumulación máxima de 98% (Cd) y 43% (Cr). En cambio, *A. fumigatus* mostró un potencial de biolixiviación comparativamente bajo, pero aún considerable, es decir, 79% y 69% para la eliminación de Cd y Cr, respectivamente. Máxima eficiencia de absorción de metal, es decir, 0,580 mg g⁻¹ y 0,152 mg g⁻¹ por *A. niger* se notó para Cd y Cr con medio de extracto de levadura Czapek (CYE) y caldo de dextrosa Sabouraud (SDB), respectivamente. *un _ fumigatus* (M3Ai) exhibió la máxima capacidad de biolixiviación (0.40 mg g⁻¹) para Cr con medio CYE.

Zeng X. et al., (2016); tuvo como objetivo investigar la biolixiviación de metales pesados de sedimentos contaminados por *Aspergillus niger* cepa SY1. Donde los experimentos de biolixiviación se llevaron a cabo en matraces cónicos de 250 ml autoclavados con 10 g de sedimento autoclavado, 1 ml de suspensión de esporas y 99 ml de medio de cultivo; los matraces se colocaron en una incubadora con agitación (220 rpm) a 30 °C durante 7 días. Los resultados presentaron 11.5 % de eficiencia de lixiviación de Pb del sedimento contaminado en el proceso de biolixiviación de un paso; mientras que en el proceso de biolixiviación en dos pasos, la mayor eficiencia de extracción de Pb fue de 65,4 %. En la biolixiviación en un solo paso, se lixiviaron 93,5 % Cd, 62,3 % Cu y 68,2 % Zn; mientras que las mayores eficiencias de extracción de metales de Cd, Cu y Zn fueron 99.5, 56, 71.9 y 76.4 %, respectivamente, en la biolixiviación en dos pasos. Después de la biolixiviación, los metales remanentes en el sedimento se encontraron principalmente en las fracciones estables.

Das S. et al., (2019); en su trabajo, se investigó la biolixiviación de aluminio (Al) metálico a partir de catalizador gastado utilizando tres cepas de *Aspergillus* (*A. niger*, *A. foetidus* y *A. carbonarius*). La biolixiviación se realizó en modo de cultivo por lotes a diferentes densidades de carga de catalizador gastado (es decir, 0,4 %, 0,8 % y 1,2 % (p/v)). La mayor eficiencia de lixiviación de Al del 88,43 % se obtuvo con una carga de catalizador del 0,8 % ((p/v)) usando *A. foetidus*, un mayor aumento en la carga de catalizador disminuyó la eficiencia. Además de esto, se usó melaza como fuente de carbono (de bajo costo) en varias concentraciones para la biolixiviación del catalizador gastado y se encontró que los resultados eran significativos a 40 g/L de concentración de azúcar con

una eficiencia de biolixiviación del 60 %. Concluyendo que *A. foetidus* tiene el potencial de lixiviación de Al de los catalizadores usados. Por lo tanto, los hallazgos de la presente investigación sugirieron que, en lugar de usar ácidos minerales, el uso de ácidos orgánicos (biodegradables) para el proceso de lixiviación de metales también es altamente confiable y ecológico.

Olalere O. et al., (2017); En su trabajo de investigación adaptó varios microorganismos (tres bacterias y un hongo) tanto por separado como en mezcla en una solución digerida de un catalizador de refinería gastado. El orden de actividad de los microorganismos adaptados se describió en este orden: *Pseudomonas fluorescens*>*Bacillus coagulans*>*Bacillus megaterium* o *Pseudomonas putida*>*Fusarium flocciferum*. El ion Pb mostró una mayor resistencia a la biolixiviación mientras que el ion Mn fue fácilmente biolixiviado por los microorganismos adaptados. A partir de los resultados obtenidos, la afinidad de algunas de estas cepas de microorganismos cultivados a los metales pesados, con *Fusarium flocciferum* mostrando afinidad por el Mn *Bacillus megaterium* o *Pseudomonas putida* para los iones Mn y Cd, *Bacillus coagulans* para el Pb y parcialmente para el ion Ni- ion, mientras que *Pseudomonas fluorescens* para los iones Pb y Cd.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

Se buscó resolver la problemática del presente estudio a través de la investigación aplicada que nos permite generar conocimientos empleando directamente en los problemas que suscitaron en la sociedad y/o realidad (Vera, 2008, p.147). Por ello se aplicó el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en su espacio y contexto real, obteniendo resultados reales que son comprobados a través de los datos consignados en la investigación.

A través del diseño de una investigación estructuramos el camino que se seguirá para el desarrollo del estudio, para Salgado A. el diseño narrativo implica plasmar los hechos o sucesos que se vivieron mediante lo narrado por los participantes en su forma natural, es decir, como se dieron en su tiempo, contexto y como lo piensan y sienten quienes relatan la información a recolectar. (et al., 2007, p.3).

Mertens (2005) clasifica el diseño narrativo en cuatro tipos, para esta investigación usamos el narrativo de tópicos que refiere el estudio de una problemática en específico. Al enfocar las fuentes de contaminación por aplicación de hongos filamentosos, se aplicó esta clasificación en el presente estudio.

3.2 Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística

En la presente investigación se presenta la matriz de categorización apriorística (Ver tabla N°2) el cual está basado en los problemas y objetivos específicos; los cuales fueron divididos en categorías y sub categorías.

Tabla N°2. Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de Análisis
Definir cuál es la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación	¿Cuál es la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación?	La cepa fúngica en el método de biolixiviación	<ul style="list-style-type: none"> - Bacterias - Arqueas - Hongos 	(Ghosh S. et al., 2020, p.17), (Borja Danilo et al., 2016, p.2)
Determinar cuál es el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos	¿Cuál es el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos?	Metal extraído en las fuentes de contaminación	<ul style="list-style-type: none"> -Metales extraídos de residuos sólidos. -Metales extraídos de residuos electrónicos. -Metales extraídos de minerales 	(Huerta Rosas B. et al., 2020, p.1), (Arshadi m. et al., 2019, p.2), (Madrigal Arias J. et al., 2016, p.3)
Clasificar cuál es la capacidad de lixiviación de las cepas fungicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación	¿Cuál es la capacidad de lixiviación de las cepas fungicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación?	Capacidad de lixiviación de las cepas fungicas	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad por el tiempo de extracción. -Capacidad máxima de lixiviación 	(Borja Danilo et al., 2016, p.2), (Sun Jing et al., 2020, p.1), (Ugwanga Mn. et al., 2020, p.1).

Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Los escenarios en las que se realizan el estudio de una investigación se caracterizan por ser accesibles, en el presente estudio nos encontramos con diferentes escenarios que fueron usados para la aplicación de la investigación. Estos escenarios fueron ubicados en los artículos científicos analizados que se usaron para extraer y usar la información para el desarrollo de la investigación, entre estos escenarios se encuentran las bibliotecas, laboratorios y/o campos de prueba.

3.4 Participantes

La información que se obtiene para realizar un estudio se obtiene a través de individuos que se relacionaron con el fenómeno o fuentes de estudios que nos ayuden a resolver una problemática. El presente estudio al ser una revisión sistemática las fuentes usadas como: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed conforman a los participantes de la investigación.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

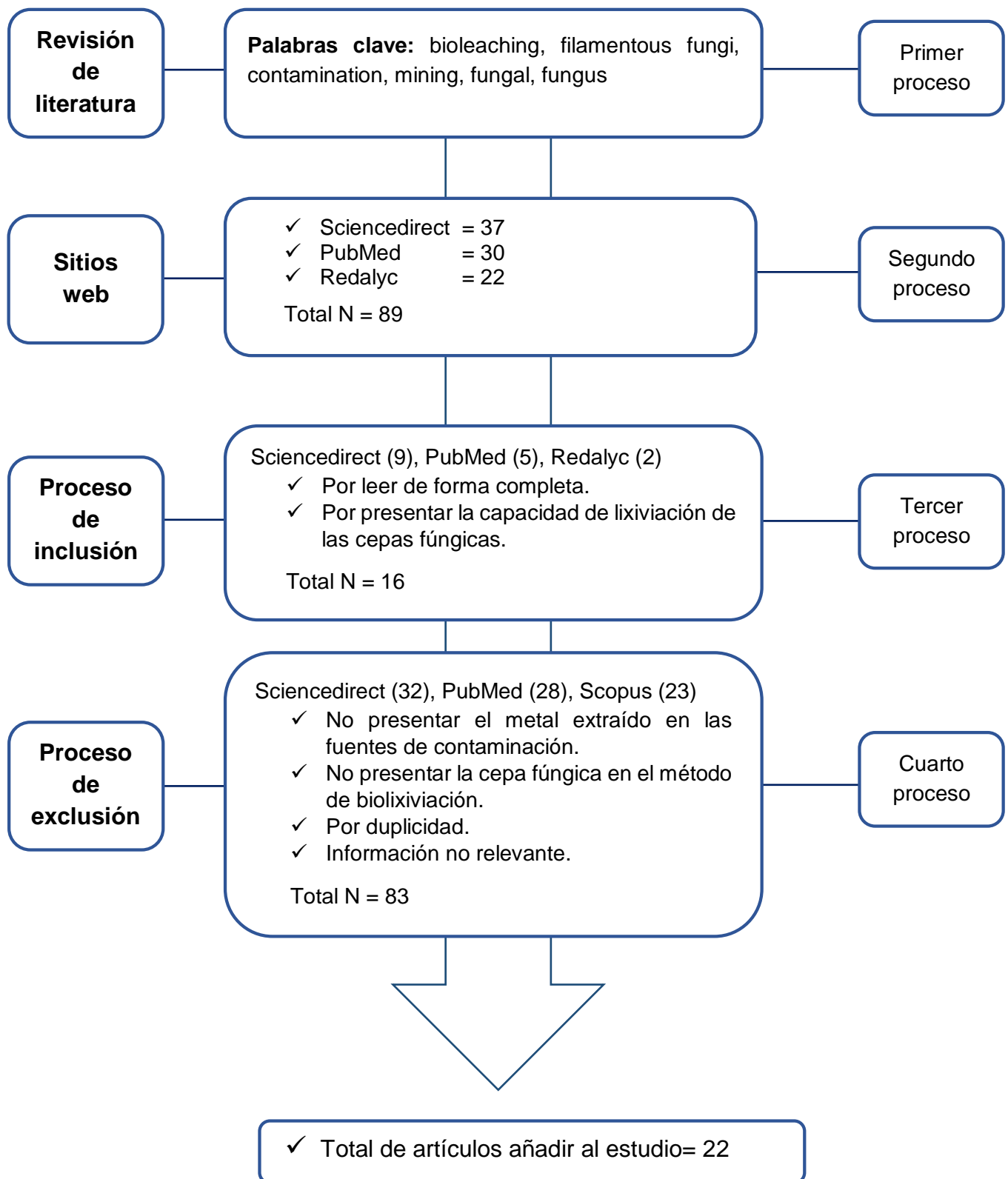
El análisis documental permite al investigador sintetizar toda la información recaudada con el fin de facilitar la recuperación de estos documentos. Esta técnica se caracteriza por crear un nuevo documento donde se encontrarán las ideas más importantes y relevantes de toda la información (Peña T. y Pírela J., 2007, p.59). Se empleó el análisis documental sintetizando la información relevante de cada artículo científico que permitió obtener un contenido claro y preciso.

La ficha de análisis de contenido permite obtener y recoger sin modificaciones fragmentos de un documento, se plasman datos del autor y datos sintetizados como métodos y procedimientos de una investigación. Debido a ello se recogió y sintetizó estos datos extraídos de los artículos científicos usados en el presente estudio y se elaboró la ficha de análisis de contenido.

3.6 Procedimientos

Los artículos científicos seleccionados se muestran en el gráfico N°1.

Grafica N°1. Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

El criterio de credibilidad, este criterio se basa en la veracidad de la información entregado por el investigador comparando los argumentos entregada por diversos autores (Guba L. et al., 1989, p.241). Este criterio es cumplido con las diferentes fuentes extraídas.

El criterio de la confirmabilidad, mediante este criterio el investigador debe incluir los procedimientos hallados para que verificar que los descubrimientos y conceptos descritos fueron razonados en la información y no como resultado de un mal análisis o suposiciones (Hamberg K. et al., 1994, p.179). Este criterio se cumple brindando la información donde se detalla el tipo de metodología usado, así como los procedimientos usados para encontrar los resultados.

El criterio de transferibilidad, mediante este criterio las conclusiones formadas en un estudio cualitativo no son prueba, pero son una descripción y una interpretación, estos deben ser estimado por su plausibilidad, lógica interna (Hamberg K. et al., 1994, p.179). Este criterio se cumple entregando toda la información encontrada sobre el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos.

El criterio de consistencia, mediante este criterio se asegura la estabilidad de los datos que se entregan. Este criterio es difícil de cumplir ya que los datos extruidos son de otras investigaciones (Norena et al., 2012, p.267). Esto se cumple detallando el procedimiento de recolección de datos sobre el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación.

3.8 Método de análisis de información

El procedimiento a seguir fue basado en los objetivos específicos el cual se dividió en categorías y sub categorías.

Categorías.

- La cepa fúngica en el método de biolixiviación.
- Metal extraído en las fuentes de contaminación.
- Capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas.

Subcategorías.

- Bacterias, arqueas y hongos.

- Metales extraídos de residuos sólidos, metales extraídos de residuos electrónicos, metales extraídos de minerales.
- Capacidad por el tiempo de extracción, capacidad por la capacidad máxima de lixiviación.

3.9 Aspectos éticos

Se cumple los diversos aspectos éticos que nos confirma la veracidad y autenticidad de nuestro estudio, siendo esto respaldado cumpliendo el manual ISO 690 y 690-2, así como la normativa de la universidad Cesar Vallejo utilizando la guía de productos observables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo general de estudio consiste en analizar cuál es la fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos; para lo cual se desarrolló la tabla 3, en la que se describe la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación, el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación y la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas.

Tabla N°3. fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación

Cepa fúngica	Zona de extracción	Metal Extraído	Capacidad de lixiviación %	Autores
RESIDUOS DE RELAVES MINEROS				
<i>Cladosporium sp. A</i>	Desechos de la minería	Mg Ag	74 67	Huerta-Rosas B. et al., 2020
<i>Cladosporium sp. B</i>	Desechos de la minería	Mg Ag	58 40	
<i>Cepas de P. chrysogenum</i>	Desechos de la minería	Mg Ag	69 53	
RESIDUOS ELECTRÓNICOS				
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Uso de placa de circuito impreso descartada	Cu, Zn, Ni	95	Ghosh S. et al., 2020
<i>Penicillium simplicissimum</i>	Placas de circuito impreso (PCB) de teléfonos móviles	Cu Ni	90 89	Arshadi M. et al., 2019
<i>Aspergillus niger</i>	Chatarra electrónica	Cu y Co	90-95	Borja D. et al., 2016
<i>Aspergillus niger (MXPE 6)</i>	PCB+GMFICMS	Au	42	Madrigal-Arias. et al; 2016
RESIDUOS SÓLIDOS				
<i>Aspergillus niger</i>	El barro rojo fresco	Ga Ge Sc La Eu	54 60 45 27 30	Qu Yan. et al., 2016

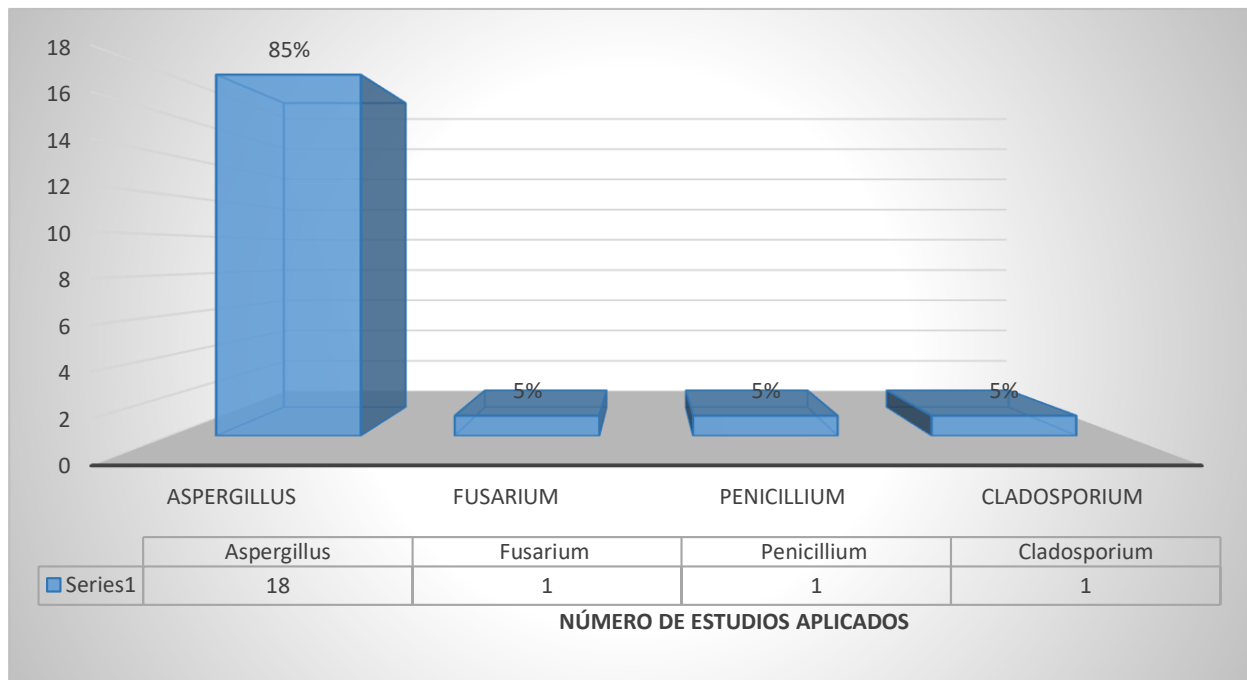
		Yb	62	
<i>Aspergillus niger</i>	Muestras de terreno	Cd	98	Khan I. et al., 2019
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Muestras de terreno	Cd	79	
<i>Aspergillus niger cepa SY1</i>	Sedimentos contaminados- Río Xihe, China	Cd Cu Zn Pb	93,5%,99,5% 56%, 62,3% 68,2%,76,4% 11,5%,65,4%	Zeng X. et al., 2016
CATALIZADORES USADOS				
<i>Aspergillus niger</i>	Catalizador gastado	Al 80-81		Das S. et al., 2019
<i>Aspergillus foetidus</i>	Catalizador gastado	Al	88.43	
<i>Aspergillus carbonarius</i>	Catalizador gastado	Al	70-80	
<i>Fusarium flocciferum</i>	catalizador gastado	Mn Pb Cd Ni	No indica	Olalere O. et al; 2016
<i>Aspergillus niger</i>	Batería de teléfono móvil de iones de litio gastada	Cu Li Mn Al Co Ni	100 95 70 65 45 38	Horeh N. et al., 2016
<i>Aspergillus nomius</i>	Baterías	Cu (II) Pb (II) Ni (II) Fe	75,14 73,21 99,8 50,15	Chatterjee A. et al., 2020
<i>Aspergillus niger</i>	Baterías de teléfonos móviles de iones de litio gastadas	Li Mn Ni Co Cu Al	100 72 45 38 94 62	Bahaloo-Horeh. et al., 2018
<i>Aspergillus niger</i>	Cenizas residuales de centrales eléctricas (cenizas PPR)	V Ni	83 30	Rasoulnia P. y Mousavi S. 2016
RESIDUOS DE MINERALES				
<i>Aspergillus oryzae (MSF 5)</i>	Mineral de baja ley -Sanindipur, Odisha, India	Mn	79	Mohanty S. et al., 2017

<i>Aspergillus niger</i> ATCC 1015	minerales REES	Minerales	No indica	Brisson V. et al., 2016
<i>Aspergillus niger</i>	boehmita	Al	43.1	Urik M. et al., 2018
Cepa de <i>Aspergillus niger</i> (KF990490)	No indica	Uranio	80	Sun J. et al., 2020
<i>Aspergillus niger</i> y <i>Penicillium simplicissium</i>	Mineral de bauxita	Al	≥ 98	Shah S. et al., 2020
<i>Penicillium crustosum</i> y <i>Aspergillus niger</i>	Mineral de bauxita (barro rojo)	Al	70	Urik M. et al., 2016
<i>Aspergillus niger</i>	No indica	Ni Co	80	Biswas S. et al., 2013

Elaboración propia

OE1: Se definió la cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación, donde, mediante la tabla de resultados 3, muestra que las especies fúngicas del género *Aspergillus* fue la más usada.

Gráfico N° 2. Porcentaje comparativo de la cepa fúngica más usada



Elaboración propia

De acuerdo al gráfico 2 respecto a la tabla 3, se tiene que la cepa fúngica *Aspergillus* es la más usada con un promedio de aplicación del 85%; seguido de *Fusarium*, *Penicillium* y *Cladosporium* con un 5% en los tres géneros.

Ello es también corroborado por Kumari D. et al., (2016, p.2), donde utilizó especies fúngicas de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Hypocrea* y también especies microbianas en relaves ácidos de minas, donde especies bacterianas (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida*, *Kocuria Flava*, *A. ferrooxidans*, *Sphingomonas sp*); para determinar la diversidad de especies microbianas en relaves ácidos de minas, aislándolos y encontrando que todos los aislados fúngicos eran altamente tolerantes a Cu, Cr, Pb, Cd, Sb y Ni, por lo que se demostró que los aislados fúngicos resistían concentraciones más altas de estos metales en comparación con los aislados bacterianos.

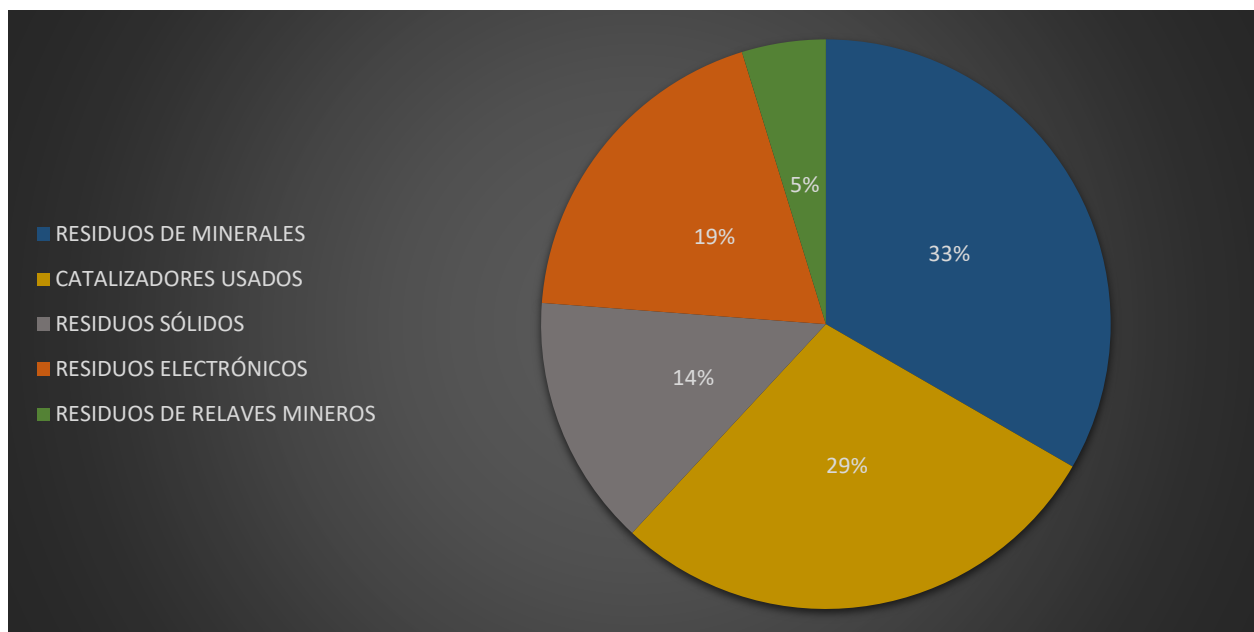
Así mismo, estudios similares son los de Das S. et al., (2019), en la tabla 3, donde utilizó *Aspergillus niger*, *Aspergillus foetidus* y *Aspergillus carbonarius* pueden solubilizar al aluminio (Al). Así también Horeh N. et al., (2016); aplicando *Aspergillus niger*, comprobó que podía resistir y solubilizar a los iones metálicos pesados Cu, Li, Mn, Al, Co y Ni.

Presentando respaldo a las afirmaciones hechas González-valdez E. et al., (2018), en su estudio realizado para determinar los efectos del cultivo de cepas de *Aspergillus* en relaves mineros, probó la capacidad de *A. niger* MxPE6 y *A. niger* Mx7 para estimular el crecimiento de plantas en el ambiente de relaves mineros, y los hallazgos indicaron que el crecimiento de estas cepas de hongos no afecta el crecimiento de *Brassica napus*, una planta cultivada en un relave de mina con fines de fitominería.

Así mismo, mediante sus estudios presentan apoyo los siguientes autores: Brisson V. et al., 2016, Urik M. et al., 2018, Sun J. et al., 2020, Shah S. et al., 2020, Urik M. et al., 2016, Biswas S. et al., 2013, Mohanty S. et al., 2017, Horeh N. et al., 2016, Chatterjee A. et al., 2020, Bahaloo-Horeh. et al., 2018, Rasoulnia P. y Mousavi S. 2016.

OE2: Por otro lado, se determinó cuál es el metal extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos; demostrando mediante la tabla 3 que son los provenientes de residuos de minerales, siendo entre ellos Ni, Co, Al, y U.

Gráfico N° 3. Clasificación de las fuentes de contaminación



Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico 3 respecto a la tabla 3, se tiene que las fuentes de contaminación más estudiadas son los residuos de minerales; ello debido a que la mayoría de los residuos de minerales contienen altas concentraciones de minerales sulfurados compuestos principalmente por metales como Ni, Fe, Cu, Pb, Hg, Zn y Cd; siendo entre los metales de este tipo de fuente el más extraídos el Al.

Además, de acuerdo con Kumari et al., (2016), los relaves de las minas de metal contienen materia inorgánica y son deficientes en nitrógeno y fósforo, lo que los hace más difíciles de recuperar y remediar. Ello es también corroborado por: Mohanty S. et al., 2017, Brisson V. et al., 2016, Urik M. et al., 2018, Sun J. et al., 2020, Shah S. et al., 2020, Urik M. et al., 2016 y Biswas S. et al., 2013.

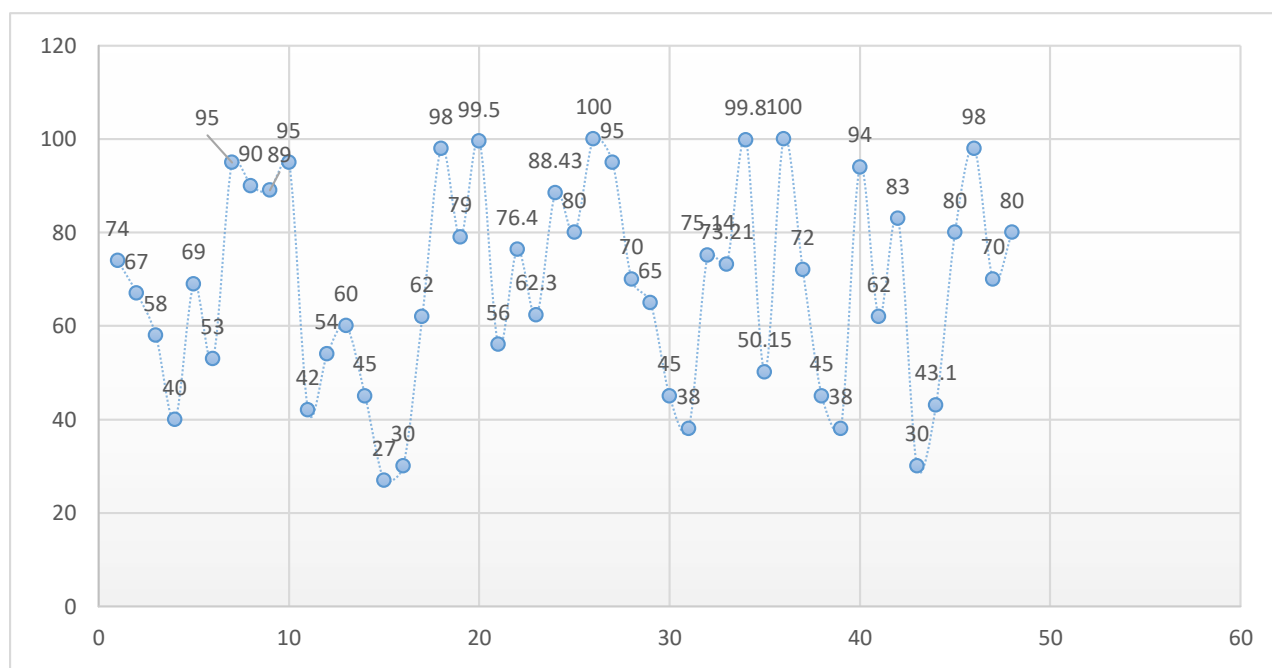
Pero también la eliminación de los catalizadores usados es necesaria para garantizar que los metales peligrosos lixiviables no terminen en el medio ambiente. Y ello es respaldado por Das S. et al., 2019, Olalere O. et al.; 2016, Horeh N. et al., 2016, Chatterjee A. et al., 2020, Bahaloo-Horeh. et al., 2018, Rasoulnia P. y Mousavi S. 2016, quienes muestran que dicha fuente de contaminación presenta una mayor cantidad de metales para extraer; como los Al, Mn, Pb, Cd, Ni, Cu, Li, Co y Fe.

Así también Chatterjee A. et al., (2020), menciona que la extracción de metales pesados de catalizadores agotados mediante biolixiviación se considera uno de los métodos más

ventajosos sobre las técnicas tradicionales de lixiviación química, principalmente debido a su simplicidad, rentabilidad y papel en la minimización de la contaminación.

OE3: Por último, la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación se demostró mediante la tabla 3; que presenta un promedio de lixiviación del 50 al 100%. Siendo demostrado mediante el gráfico 4.

Gráfico N° 4. Promedio de la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas



Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico 4 respecto a la tabla 3, se tiene que la capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación presenta una línea de tendencia del promedio de la capacidad de lixiviación de 50 a 100%.

Así lo corrobora Das S. et al., (2019); donde señala que la lixiviación, aunque las bacterias presentan una atención significativa sobre la lixiviación fúngica, existen diversos estudios que ya han demostrado que las cepas fúngicas *Aspergillus sp* y *Penicillium sp* pueden contribuir a la optimización de los métodos de biolixiviación.

Así también, apoyando la afirmación realizada, se encuentran los siguientes investigadores Borja D. et al., 2016, Ghosh S. et al., 2020, Horeh N. et al., 2016 y Bahaloo-

Horeh. et al., 2018, quienes obtuvieron una capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas en un 95%, 95%, 98%, 100%, 100% respectivamente.

Pero ello es ciertamente refutado por lo señalado en el estudio de Lichus A. y Zeilinger S., (2019, p.3); donde menciona que la biolixiviación fúngica se puede lograr en un solo paso o en dos pasos, pero, la efectividad de ambos procesos ha mostrado resultados diferentes dependiendo de la cepa fúngica utilizada.

Así también, comprobando la afirmación realizada Qayum S. et al. (2019, p.6); optimizó la temperatura, el pH y las fuentes de carbono para comparar la eficacia de un proceso de biolixiviación de metales de uno y dos pasos; encontrando que, usando *Aspergillus flavus* en biolixiviación en un solo paso, se lixiviaron 18.6 % de Pb, 39.77 % de Cd y 58.22 % de Zn. Por otro lado, en el proceso de biolixiviación en dos pasos se lixivió 16,9 % de Pb, 49,66 % de Cd y 65,73 % de Zn. Por lo tanto, se concluyó que la biolixiviación de Cd y Zn fue mayor en una biolixiviación en dos pasos que los resultados obtenidos en una biolixiviación en un solo paso.

V. CONCLUSIONES

La fuente de contaminación en la que se presenta mejores resultados los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos son aquellos provenientes de los residuos electrónicos y residuos sólidos; así mismo, las conclusiones a las que se llegaron se muestran a continuación:

La cepa fúngica más usada en el método de biolixiviación aplicado a diversas fuentes de contaminación es cepa fúngica *Aspergillus* con un promedio de aplicación del 85% ello debido a su potente agente lixivante; seguido de *Fusarium*, *Penicillium* y *Cladosporium* con un 5% en los tres géneros.

El metal más extraído en las diversas fuentes de contaminación donde se aplica el método de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos es el Al siendo este el proveniente de las fuentes de los residuos de minerales, una de las fuentes más estudiadas. Ello porque, la mayoría de los residuos de minerales contienen altas concentraciones de minerales sulfurados compuestos principalmente por metales como Ni, Fe, Cu, Pb, Hg, Zn y Cd; siendo entre los metales de este tipo de fuente el más extraídos el Al.

La capacidad de lixiviación de las cepas fúngicas usadas en los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos en diversas fuentes de contaminación presenta una línea de tendencia del promedio de la capacidad de lixiviación de 50 a 100%.

VI. RECOMENDACIONES

Mediante la amplia revisión realizada a nivel nacional e internacional sobre los métodos de biolixiviación mediante la aplicación de hongos filamentosos, se pudo mostrar que esta tecnología aún presenta desafíos, pero también innumerables oportunidades. Por lo cual se realiza las siguientes sugerencias a los futuros investigadores:

Debido a diversos desafíos, la comunidad de investigadores aún no ha desarrollado una tecnología optimizada de recuperación de metales por hongos, lo que lleva a la comercialización de este método, sin embargo, los diversos estudios demuestran que esta tecnología tiene oportunidades futuras prometedoras debido a la gran demanda de un método biológico complementario alternativo para la recuperación de metales, por ello se recomienda ampliar los estudios.

Debido a la creciente presión de reducir el impacto del cambio climático debido a las diversas fuentes de contaminación como la minería, el desarrollo urbano y otras actividades industriales sugiere que se desarrollen estudios de biolixiviación a gran escala.

Además, los estudios piloto muestran que los hongos filamentosos pueden funcionar en combinación con bacterias u otros microorganismos, por lo cual, se sugiere a los investigadores construir un consorcio microbiano natural sostenible para resolver algunos de los desafíos de la biolixiviación.

Por último, hasta ahora, un número relativamente limitado de cepas de hongos se ha asociado con la biolixiviación de minerales y lo más probable es que existan cepas no identificadas con gran potencial para la biolixiviación; por ello, se recomienda ampliar los estudios y realizar una base de datos con las especies de hongos usadas y su eficiencia en la lixiviación.

REFERENCIAS

1. ALVARADO-CRUZ, Isabel, et al. Environmental epigenetic changes, as risk factors for the development of diseases in children: a systematic review. *Annals of global health*, 2018, vol. 84, no 2, p. 212. Disponible en: <http://doi.org/10.29024/aogh.909>
2. ARSHADI, Mahdokht; NILI, Sheida; YAGHMAEI, Soheila. Ni and Cu recovery by bioleaching from the printed circuit boards of mobile phones in non-conventional medium. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 250, p. 109502. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109502>
3. BAHALOO-HOREH, Nazanin; MOUSAVI, Seyyed Mohammad; BANIASADI, Mahsa. Use of adapted metal tolerant *Aspergillus niger* to enhance bioleaching efficiency of valuable metals from spent lithium-ion mobile phone batteries. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 197, p. 1546-1557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.299>
4. BHATERIA, Rachna; JAIN, Disha. Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2016, vol. 2, no 2, p. 161-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>
5. BISWAS, Supratim, et al. Bioleaching of nickel and cobalt from lateritic chromite overburden using the culture filtrate of *Aspergillus niger*. *Applied bio chemistry and biotechnology*, 2013, vol. 170, no 7, p. 1547-1559. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0289-9>
6. BORJA, Danilo, et al. Experiences and future challenges of bioleaching research in South Korea. *Minerals*, 2016, vol. 6, no 4, p. 128. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/min6040128>
7. BRISSON, Vanessa L.; ZHUANG, Wei-Qin; ALVAREZ-COHEN, Lisa. Bioleaching of rare earth elements from monazite sand. *Biotechnology and bioengineering*, 2016, vol. 113, no 2, p. 339-348. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.25823>
8. CHATTERJEE, A.; DAS, R.; ABRAHAM, J. Bioleaching of heavy metals from spent batteries using *Aspergillus nomius* JAMK1. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2020, vol. 17, no 1, p. 49-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.07.004>

9. CHAVES, Ana FA, et al. The role of filamentous fungi in drinking water biofilm formation. En *Recent Trends in Biofilm Science and Technology*. Academic Press, 2020. p. 101-125. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819497-3.00005-2>
10. CHEN, Yong; SELVINSIMPSON, Steplinpaulselvin. Bio-inspired materials for adsorptive removal of water pollutants. En *Contamination of Water*. Academic Press, 2021. p. 375-384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00036-0>
11. COHEN, Aaron J., et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 2017, vol. 389, no 10082, p. 1907-1918. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
12. CONG, Xiaowei. Air pollution from industrial waste gas emissions is associated with cancer incidences in Shanghai, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 13, p. 13067-13078. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1538-9>
13. DARWESH, Osama M.; MATTER, Ibrahim A. Nanomaterials in the biological treatment of contaminated soil. En *Nanomaterials for Soil Remediation*. Elsevier, 2021. p. 285-300. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822891-3.00014-1>
14. DAS, Sutapa, et al. Biobleaching of Al from spent fluid catalytic cracking catalyst using *Aspergillus* species. *Biotechnology reports*, 2019, vol. 23, p. e00349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00349>
15. DUAN, Zheng; BASTIAANSSEN, W. G. M. A new empirical procedure for estimating intra-annual heat storage changes in lakes and reservoirs: review and analysis of 22 lakes. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol. 156, p. 143-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.009>
16. GAUTAM, Rajeev K.; VERMA, Anil. Electrocatalyst materials for oxygen reduction reaction in microbial fuel cell. En *Microbial Electrochemical Technology*. Elsevier, 2019. p. 451-483. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00018-2>

17. GHOSH, Sadhan Kumar, et al. (ed.). *Bioresource Utilization and Bioprocess*. Springer, 2020. ISBN: 978-981-15-1609-2
18. GONZÁLEZ-VALDEZ, Eduardo, et al. Induced accumulation of Au, Ag and Cu in *Brassica napus* grown in a mine tailings with the inoculation of *Aspergillus niger* and the application of two chemical compounds. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 154, p. 180-186. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.055>
19. GOUVEIA, Nelson, et al. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 232, p. 385-391. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.125>
20. GUO, Yuming, et al. The association between lung cancer incidence and ambient air pollution in China: A spatiotemporal analysis. *Environmental research*, 2016, vol. 144, p. 60-65. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.004>
21. HOREH, N. Bahaloo; MOUSAVI, S. M.; SHOJAOSADATI, S. A. Bioleaching of valuable metals from spent lithium-ion mobile phone batteries using *Aspergillus niger*. *Journal of power sources*, 2016, vol. 320, p. 257-266. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.104>
22. HUERTA-ROSAS, B., et al. Aerobic processes for bioleaching manganese and silver using microorganisms indigenous to mine tailings. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2020, vol. 36, no 8, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02902-6>
23. IQBAL, Nadeem, et al. Phytoremediation of Cd-contaminated soil and water. En *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*. Academic Press, 2019. p. 531-543. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00021-8>
24. İŞILDAR, Arda. Biotechnologies for metal recovery from electronic waste and printed circuit boards. *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling*, 2018, p. 241-269. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102057-9.00010-X>
25. ISSA, Aseel T.; TAHERGORABI, Reza. Milk bacteria and gastrointestinal tract: Microbial composition of milk. *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases*,

- 2019, p. 265-275. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814468-8.00022-3>
26. KARIMI, Behrooz; SHOKRINEZHAD, Behnosh. Air pollution and mortality among infant and children under five years: A systematic review and meta-analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 2020, vol. 11, no 6, p. 61-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.02.006>
27. KHAN, Ibrar, et al. Mycoremediation of heavy metal (Cd and Cr)–polluted soil through indigenous metallotolerant fungal isolates. *Environmental monitoring and assessment*, 2019, vol. 191, no 9, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7769-5>
28. KULSHRESTHA, Umesh; MISHRA, Manisha. Atmospheric chemistry in Asia: Need of integrated approach. En *Asian Atmospheric Pollution*. Elsevier, 2022. p. 55-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816693-2.00002-0>
29. KUMAR, Pradeep, et al. Severe contamination of carcinogenic heavy metals and metalloid in agroecosystems and their associated health risk assessment. *Environmental Pollution*, 2022, p. 118953. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118953>
30. KUMAR, A.; PRABHU, S. V. Fungal and Bacterial Bioleaching Studies On Bauxite. *Fungal and Bacterial Bioleaching Studies On Bauxite*. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4730.7367>
31. KUMARI, Deepika, et al. Multiple metal-resistant bacteria and fungi from acidic copper mine tailings of Xinjiang, China. *Environmental Earth Sciences*, 2015, vol. 74, no 4, p. 3113-3121. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4349-z>
32. LANDRIGAN, Philip J., et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The lancet*, 2018, vol. 391, no 10119, p. 462-512. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
33. LAVIGNE, Éric, et al. Maternal exposure to ambient air pollution and risk of early childhood cancers: a population-based study in Ontario, Canada. *Environment international*, 2017, vol. 100, p. 139-147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.004>

34. LEOGRANDE, Simona, et al. Industrial air pollution and mortality in the Taranto area, Southern Italy: A difference-in-differences approach. *Environment international*, 2019, vol. 132, p. 105030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105030>
35. LICHIOUS, Alexander; ZEILINGER, Susanne. Application of membrane and cell wall selective fluorescent dyes for live-cell imaging of filamentous fungi. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 2019, no 153, p. e60613. Disponible en: <https://doi.org/10.3791/60613>
36. LONG, Zhijie, et al. Contamination, sources and health risk of heavy metals in soil and dust from different functional areas in an industrial city of Panzhihua City, Southwest China. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 420, p. 126638. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126638>
37. MADRIGAL-ARIAS, Jorge Enrique, et al. Bioleaching of gold, copper and nickel from waste cellular phone PCBs and computer goldfinger motherboards by two *Aspergillus niger* strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2015, vol. 46, p. 707-713. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1517-838246320140256>
38. MOHANTY, Sansuta, et al. Bioleaching of manganese by *Aspergillus* sp. isolated from mining deposits. *Chemosphere*, 2017, vol. 172, p. 302-309. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.136>
39. MUÑOZ, Ariel A., et al. Multidecadal environmental pollution in a mega-industrial area in central Chile registered by tree rings. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 696, p. 133915. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133915>
40. OLALERE, O. A., et al. A bioleaching regeneration and recovery of spent refinery catalyst using adapted microorganisms. *J Adv Chem Eng*, 2016, vol. 6, p. 1-19. Disponible en: <https://doi.org/10.4172/2090-4568.1000158>
41. QAYYUM, Sadia, et al. Optimization of pH, temperature and carbon source for bioleaching of heavy metals by *Aspergillus flavus* isolated from contaminated soil. *Main group metal chemistry*, 2019, vol. 42, no 1, p. 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/mgmc-2018-0038>

42. QU, Yang, et al. Leaching of valuable metals from red mud via batch and continuous processes by using fungi. *Minerals Engineering*, 2015, vol. 81, p. 1-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.07.022>
43. RASOULNIA, P.; MOUSAVI, S. M. Maximization of organic acids production by *Aspergillus niger* in a bubble column bioreactor for V and Ni recovery enhancement from power plant residual ash in spent-medium bioleaching experiments. *Bioresource technology*, 2016, vol. 216, p. 729-736. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.114>
44. REICHLE, D. E. Chapter 11—Anthropogenic alterations to the global carbon cycle and climate change. *The Global Carbon Cycle and Climate Change*; Reichle, DE, Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020, p. 209-251. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820244-9.00011-1>
45. ROBERTO, Sarabia-Castillo Cesar, et al. Current perspectives of soil nanoremediation. En *Nanomaterials for Soil Remediation*. Elsevier, 2021. p. 521-550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822891-3.00029-3>
46. ROSELL-MELÉ, Antoni, et al. Oil pollution in soils and sediments from the Northern Peruvian Amazon. *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 610, p. 1010-1019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.208>
47. SANY, Seyedeh Belin Tavakoly, et al. The west coast of Peninsular Malaysia. En *World seas: An environmental evaluation*. Academic Press, 2019. p. 437-458. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100853-9.00050-6>
48. SUN, Jing, et al. Impacts of operational parameters on the morphological structure and uranium bioleaching performance of bio-ore pellets in one-step bioleaching by *Aspergillus niger*. *Hydrometallurgy*, 2020, vol. 195, p. 105378. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105378>
49. SCHWEITZER, Linda; NOBLET, James. Water contamination and pollution. En *Green chemistry*. Elsevier, 2018. p. 261-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>
50. SENTHILKUMAR, K.; KUMAR, M. Naveen. Generation of bioenergy from industrial waste using microbial fuel cell technology for the sustainable future. En *Refining*

- Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts. Academic Press, 2020. p. 183-193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818996-2.00008-9>
51. SHAH, Syed Sikandar, et al. Enhanced bio-recovery of aluminum from low-grade bauxite using adapted fungal strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2020, vol. 51, no 4, p. 1909-1918. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00342-w>
52. SHARMA, Poonam, et al. Trends in mitigation of industrial waste: Global health hazards, environmental implications and waste derived economy for environmental sustainability. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 811, p. 152357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152357>
53. SIDDIQUI, S. Protein Production: Quality Control and Secretion Stress Response. *En New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2016. p. 257-266. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00024-5>
54. SINGH, Nakshatra Bahadur. Remediation of metal ions contaminated soil by nanomaterials. *En Nanomaterials for Soil Remediation*. Elsevier, 2021. p. 409-426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822891-3.00019-0>
55. SRIVASTAVA, Atul Kumar. Air pollution: Facts, causes, and impacts. *En Asian Atmospheric Pollution*. Elsevier, 2022. p. 39-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816693-2.00020-2>
56. SULTAN, Maisha Binte, et al. Soil, Dust, and Leaf-based Novel Multi-sample Approach for Urban Heavy Metal Contamination Appraisals in a Megacity, Dhaka, Bangladesh. *Environmental Advances*, 2021, p. 100154. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100154>
57. SUN, Jing, et al. Impacts of operational parameters on the morphological structure and uranium bioleaching performance of bio-ore pellets in one-step bioleaching by *Aspergillus niger*. *Hydrometallurgy*, 2020, vol. 195, p. 105378. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105378>
58. TAMBOLI, Ekant; ESWARI, J. Satya. Microbial fuel cell configurations: An overview. *Microbial Electrochemical Technology*, 2019, p. 407-435. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00016-9>

59. Uugwanga, MN y Kgabi, NA (2020). Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y relaves de las minas de Klein Aub y Oamites, Namibia. *Avances Ambientales*, 2, 100006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100006>
60. URÍK, Martin, et al. Aluminium leaching by heterotrophic microorganism *Aspergillus niger*: an acidic leaching?. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2018, vol. 43, no 5, p. 2369-2374. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2784-8>
61. URÍK, Martin, et al. Aluminium leaching from red mud by filamentous fungi. *Journal of inorganic biochemistry*, 2016, vol. 152, p. 154-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2015.08.022>
62. WANG, Shanshan, et al. Organochlorine pesticides in riparian soils and sediments of the middle reach of the Huaihe River: A traditional agricultural area in China. *Chemosphere*, 2022, p. 134020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134020>
63. YU, Shuang Yu, et al. Organochlorine pesticides in ambient air from the littoral cities of northern China: spatial distribution, seasonal variation, source apportionment and cancer risk assessment. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 652, p. 163-176. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.230>
64. YUSTA-GARCÍA, Raúl, et al. Water contamination from oil extraction activities in Northern Peruvian Amazonian rivers. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 225, p. 370-380. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.063>
65. ZENG, Xiangfeng, et al. Bioleaching of heavy metals from contaminated sediments by the *Aspergillus niger* strain SY1. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, vol. 15, no 4, p. 1029-1038. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1076-8>
66. ZHANG, Yuan, et al. Legacies of organochlorine pesticides (OCPs) in soil of China—a review, and cases in Southwest and Southeast China. *Environmental Geochemistry*, 2018, p. 543-565. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00022-7>

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TÍTULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

CÓDIGO:	
PALABRAS CLAVES:	
TIPO DE CEPA FÚNGICA:	
TIPO DE METALES EXTRAÍDOS :	
CAPACIDAD DE LIXIVIACIÓN DE LAS CEPAS FUNGICAS :	
RESULTADOS:	
CONCLUSIONES:	