



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Tecnologías de Tratamiento de Aguas  
Contaminadas con Metales Pesados para su Aplicación en el  
Ámbito Social, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR:**

Toledo Toledo, Franklin Jhoe (ORCID: 0000-0002-7526-5607)

**ASESOR:**

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

### **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicada para mis padres y demás familiares que velaron por mi formación personal y por su incondicional apoyo a mis estudios, mediante su apoyo económico y consejos del cual estoy agradecido profundamente.

### **Agradecimiento**

Le estoy agradecido a todas las personas que me apoyaron moralmente, aconsejándome y guiándome a lo largo de la consolidación de esta tesis, como mi asesor y a la Universidad Cesar Vallejo por brindarme la oportunidad de concluir mi formación profesional y poder graduarme.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	12
3.3. Escenario de estudio.....	13
3.4. Participantes .....	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.6. Procedimiento .....	14
3.7. Rigor científico .....	15
3.8. Métodos de análisis de información .....	16
3.9. Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS .....	46
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1. Fuentes de los Metales Pesados de origen antropogénica. ....	5
Tabla 2. Tecnologías de remoción de contaminantes por su método de utilización más habitual.....	5
Tabla 3. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística. ....	12
Tabla 4. Criterios en el rigor científico.....	16
Tabla 5. Tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados (MP).....	17
Tabla 6. Tecnologías según su tipo, componentes, potencial de eliminación y su enfoque de aplicación en el ámbito social .....	23
Tabla 7. Componentes utilizados por las tecnologías para el tratamiento de metales pesados y sus resultados. ....	35
Tabla 8. Establecimiento de la capacidad de retención y/o eliminación de MP según las tecnologías por componente y ámbito de aplicación .....	39

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Proceso de recopilación y revisión de información bibliográfica. ....	15
Figura 2. Distribución de las tecnologías para su aplicación según su método .....	21
Figura 3. Tratamiento de MP por cantidad y tipo de metales pesados según cada tecnología .....	32
Figura 4. Metales pesados que más influyen para su tratamiento por las tecnologías. ....	34
Figura 5. Dispersión de componentes en las tecnologías .....	38

## Resumen

Esta investigación es por revisión sistemática y enfoque cualitativo, con el objetivo de determinar si las tecnologías de tratamiento de metales pesados (TTMP) en el agua, mejoran en la aplicación en el ámbito social. Del cual se determinó que las tecnologías por adsorción, bioadsorción, biosorción (TABB); seguida de las tecnologías de coagulación floculación (TCF) y de las tecnologías de electrocoagulación (TE); son las tecnologías que más inciden o influyen en su aplicación en el ámbito social, considerando la capacidad de eliminar a un número mayor de MP, así como el ámbito de aplicación en (aguas residuales, industriales, subterráneas, pluviales, relaves mineros, y otros). Asu vez se determinó que las tecnologías inciden o influyen en su aplicación mediante la retención, eficiencia, eficacia y capacidad de eliminación de iones de metales pesados según los componentes utilizados, expresando la capacidad de eliminación en porcentaje de 0% a 100% y mg/g que indica la eficiencia o eficacia para eliminar MP, siendo un indicador que influye en su aplicación. Finalmente se concluye que las TTMP, mejoran la calidad del agua y en la mejor medida posible buscan aumentar sus capacidades para eliminar MP, mediante el estudio y uso de nuevas técnicas, métodos y componentes.

**Palabras clave:** Tecnologías, metales pesados, agua.

## **Abstract**

This research is by systematic review and qualitative approach, with the objective of determining if the technologies of treatment of heavy metals (TTMP) in water, improve in the application in the social field. It was determined that adsorption, bioadsorption and biosorption technologies (TABB), followed by coagulation-flocculation technologies (TCF) and electrocoagulation technologies (TE), are the technologies that have the greatest impact or influence on their application in the social sphere, considering their capacity to eliminate a greater number of PM, as well as their scope of application (wastewater, industrial, groundwater, rainwater, mine tailings, and others). It was also determined that the technologies affect or influence their application through the retention, efficiency, efficacy and removal capacity of heavy metal ions according to the components used, expressing the removal capacity in percentage from 0% to 100% and mg/g, which indicates the efficiency or efficacy to remove PM, being an indicator that influences their application. Finally, it is concluded that the TTMPs improve water quality and, to the best extent possible, seek to increase their capacity to eliminate PM, through the study and use of new techniques, methods and components.

**Key words:** Technologies, heavy metals, water.

## I. INTRODUCCIÓN

La finalidad de esta investigación es conocer y exponer las tecnologías de tratamiento de metales pesados (TMP) en el agua para su aplicación al ámbito social con la finalidad de comprender y describir su incidencia en la solución de los problemas de la contaminación del H<sub>2</sub>O con metales pesados (MP), esencial para las actividades económicas y la vida.

Uno de los problemas actuales aún sigue siendo la contaminación del agua con MP, y frente a un incremento del consumo de recursos naturales en todo el mundo producto del crecimiento de la población mundial es esencial contar con tecnologías adecuadas y aplicables al ámbito social para su adecuado tratamiento y así mantener el suministro de este recurso hídrico de forma constante pese al incesante crecimiento poblacional en el mundo, como lo explican los expertos en sostenibilidad en el foro Rio+5, donde señalaron que solo para el año 1997 se necesitaban de tres tierras para sostener una vida adecuada en los países desarrollados y hoy en día con más de 7500 millones de seres humanos la situación es aún peor, aunque la población redujera su consumo considerablemente con una adecuada distribución de los recursos naturales, seguiría superando la biocapacidad de la tierra., es decir, pronto superara la capacidad de carga de la tierra, por ende a mayor consumo de recursos naturales es mayor el consumo del agua y la necesidad de contar con un recurso hídrico apta para su consumo agrícola, industrial y humano (Vilches y Gil-Pérez, 2020, p.4).

El problema de la contaminación del líquido vital H<sub>2</sub>O por los MP, sucede en distintos lugares del mundo por el crecimiento industrial y poblacional que provocan la generación de aguas residuales en muchas ciudades y pueblos del mundo donde millones de agricultores dependen de arroyos naturales para el riego de cultivos y hortalizas destinadas a los mercados, esto pondría en riesgo la salud del entorno social ya que muchos contaminantes de las aguas de arroyos pueden afectar al medio ambiente como a la salud humana, y entre los muchos contaminantes de las aguas están los metales pesados que son de preocupación mundial debido a la toxicidad y bioacumulación en el cuerpo humano, aunque la presencia de los MP en el recurso hídrico podría deberse a procesos naturales o

aquellas procedentes de entornos urbanos provenientes del desarrollo industrial, transporte y otras actividades antropogénicas (Tomno et al, 2020, p.2).

Por otra parte, un estudio realizado en Jamalpur Sadar, Bangladesh sobre la exposición de la salud a los MP y el índice de la calidad del recurso hídrico para irrigación y aptitud para el consumo, concluyo que en las aguas superficiales y subterráneas según la clasificación de WQI, que el 95% de las muestras de agua subterránea tenían una calidad entre “muy mala” y no apta para consumo humano y de la misma manera entre el 82 % de muestras en aguas superficiales y 75 % de aguas subterráneas se clasificaron como “mala” e “inadecuada” para el riego, y el Cd fue el parámetro más dominante seguido de Cr, Pb, Mn y el Cu, tanto para aguas superficiales como subterráneas. Es por ello que el uso de aguas de tan baja calidad puede suponer un peligro para la salud humana, los cultivos y el suelo en consecuencia debe tratarse antes de utilizar estas aguas para beber y regar, así mismo el estudio dedujo que existe la posibilidad que en promedio 5 personas de cada 10 desarrollen cáncer como resultado de la exposición al Cd a lo largo de la vida de una persona mediante la ingestión de aguas con metales con Cd (Zakir, Sharmin, Akter y Rahman, 2020, p. 1-13).

En Latinoamérica la presencia de MP en el agua no es una excepción, solo por mencionar un estudio realizado en las ciudades de Puebla y Veracruz en México a diferentes ríos y lagos con 91 estaciones de monitoreo en parámetros como (pH, conductividad, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio níquel, plomo y zinc), concluyo que de acuerdo a los límites permisibles de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (EPA), entre un 1%, 30%, 15% y 20 % de los cursos del agua verificados exceden las concentraciones en As, Pb, Cd y Hg, por otra parte el 50, 20 y 2 % rebasan los LMP para consumo humano en Cd, Hg y Pb mientras la concentración y dispersión del Hg fue la más baja, por su parte el As fue la más elevada (Mancilla-Villa et al, 2012, p. 2-8 )

En el Perú la contaminación del agua por metales pesados viene afectando a la sociedad civil sin importar la edad que se tenga, según la publicación realizada el mes de febrero del 2020 del Ministerio de salud, donde se reportó a 5 familias de la ciudad de Pasco que denunciaron ante esta entidad del estado, mencionando que estas familias no venían recibiendo medicamentos para tratar enfermedades

producidas por la exposición a metales pesados, y ese mismo año para el mes de agosto supero las 400 personas que recibieron atención de manera especializada por la exposición a MP en puno (Ministerio de Salud, 2020).

Es por ello que el H<sub>2</sub>O es un bien muy importante en la sociedad, así como esencial para su avance económico, industrial, agrícola y ganadera., sin embargo, esto gira según su disponibilidad y la adecuada calidad de este líquido de H<sub>2</sub>O. ya que en un 71% de la superficie está formada por agua, y de ese porcentaje el 97.5 % está presente en los océanos, pero con salinidad y el 2.5 % es agua dulce del cual solo es posible aprovechar el 0.8 % que se encuentra descongelado teniendo una pequeña cantidad de agua dulce (Grueso-Domínguez et al, 2019, p.3).

En consecuencia, las tecnologías limpias están enfocándose en las raíces de los problemas ambientales del agua con MP y la búsqueda de nuevas formas de tecnologías, que buscan soluciones, y que abordan una gran diversidad de procesos, productos y servicios con la finalidad de lograr una eficiencia superior y con menores costos que reduzcan o eliminen los impactos ambientales (Sotomayor y Power, 2019, p.35).

Sobre esta realidad problemática se planteó el siguiente objetivo general. Determinar si las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, mejoran en la aplicación en el ámbito social, 2021.

OE1: Identificar las tecnologías limpias de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021.

OE2: Analizar los componentes de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021.

OE3: Establecer la capacidad de retención de metales pesados de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas que incide para su aplicación en el ámbito social, 2021

Y para esta investigación se planteó el subsiguiente problema general ¿En qué medida las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales

pesados inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021? y los siguientes problemas específicos.

PE1: ¿De qué forma las tecnologías limpias de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021?

PE2: ¿Cuáles son los componentes de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021?

PE3: ¿Cómo es la capacidad de retención de metales pesados de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas que incide para su aplicación en el ámbito social, 2021?

La justificación desde el ámbito social de esta investigación recae en la necesidad de contar con una adecuada gestión de la problemática ambiental de los MP presentes dentro del agua mediante tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas por iones MP ya sean de origen natural o antrópica. Por su parte según el artículo segundo de la ley N° 31189, la prevención, mitigación y atención de la salud afectada por la contaminación con metales pesados y demás sustancias se deben incorporar en las políticas públicas de salud en materia ambiental, así como el artículo primero de la presente ley tiene objeto de fortalecer la prevención, mitigación y atención de la salud afectada por metales pesados u otras en el ámbito social (Congreso de la Republica del Perú, 2021).

Y la justificación teórica de la presente investigación en tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas con MP se fundamenta en determinar y conocer las tecnologías aplicables al ámbito social para descontaminar y tratar los metales infiltrados en los recursos hídricos vital para la vida a consecuencia de la problemática descrita.

## II. MARCO TEÓRICO

Respecto a la contaminación de las aguas con MP, las fuentes pueden ser de origen natural o antrópica como se visualiza siguiente tabla.

**Tabla 1.** Fuentes de los Metales Pesados de origen antropogénica.

METALES	FUENTES
Plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros se liberan a los ecosistemas acuáticos y esto presenta una amenaza para las plantas, animales y el ser humanos	<p><b>Cromo:</b> usado en áreas de la industria como galvanoplastia, revestimiento de plástico, curtidos, pigmentos, conservas de madera.</p> <p><b>Cadmio:</b> usado en la industria de baterías, agentes anticorrosivos y pigmentos.</p> <p><b>Mercurio:</b> mediante la dispersión atmosférica, erosión, descargas humanas, materiales agrícolas, minería, descargas industriales y de combustión.</p> <p><b>Plomo:</b> liberado al ambiente por la industria minera, combustible fósil, municiones, dispositivos de protección contra rayos x.</p>

Fuente: elaboración propia de acuerdo a (Pabón, Benítez, Sarria-Villa y Gallo, 2020, p.2).

Y para el tratamiento de los MP que están incorporados y presentes dentro del agua se identifican los siguientes tipos de tecnologías.

**Tabla 2.** Tecnologías de remoción de contaminantes por su método de utilización más habitual

N°	MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE METALES PESADOS	
01	Filtración mediante membranas	Electrodialisis
		Osmosis inversa
		Nano filtración
		Ultrafiltración
02	Por intercambio iónico	
03	Por adsorción, y/o bioadsorción biosorción	Carbón activado
		Nanotubos de carbono
04	Precipitación química	Precipitación por hidróxidos
		Precipitación por sulfuros
05	Electrocoagulación	
06	Coagulación-floculación	
07	Electro floculación	

Fuente: elaboración propia de acuerdo a la información de (Pabón et al., 2020 p.13-15).

A la fecha, se han desarrollado varias tecnologías con diferentes métodos, técnicas y materiales para el tratamiento de MP que contaminen el agua, que es importante para el consumo en sus diversas aplicaciones en la sociedad civil. Y para los antecedentes relacionados al tema se presenta las siguientes investigaciones.

Los principales contaminantes de las aguas superficiales por metales pesados son el plomo ( $Pb^{2+}$ ), el zinc ( $Zn^{2+}$ ), el cadmio ( $Cd^{2+}$ ), el cobre ( $Cu^{2+}$ ), el níquel ( $Ni^{2+}$ ), el arsénico ( $As^{3+}$ ), Cobalto ( $Co^{2+}$ ), Hierro ( $Fe^{3+}$ ), Manganeseo ( $Mn^{2+}$ ), Mercurio ( $Hg^{2+}$ ), Cromo (Cr VI), Plata ( $Ag^+$ ), Oro ( $Au^{3+}$ ), paladio ( $Pd^{2+}$ ), platino ( $Pt^{3+}$ ), uranio (U VI), cesio ( $Cs^+$ ) y rubidio ( $Rb^+$ ). Entre ellos, los iones  $Cu^{2+}$ , Cr VI,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  son de naturaleza altamente tóxica, especialmente en aguas residuales (Fouda-Mbanga, Prabakaran y Pillay, 2021, p.1).

Es así que la contaminación por metales pesados tiene graves consecuencias en la salud y son tóxicos para el medio ambiente así como los minerales biológicamente no esenciales son el Cd, Pb, Hg y As y el Zn, Cu siendo dañinos en los humanos, animales y vegetales en exceso, se presenta a la bioadsorción como una forma moderna de absorber y tratar los metales pesados y mantener reducido sus niveles de concentración utilizando plantas y microorganismos con capacidad de reducir los metales pesados (Thakare et al., 2021 p.11).

Y de acuerdo a la investigación realizada por Fouda-Mbanga et al. (2021). para la absorción de MP como (Cd, Pb, Zn) mediante uso de biopolímeros de Carbohidratos absorbentes a base de lignina, se determinó, que los biopolímeros de carbohidratos son formas alternativas de eliminar metales pesados ya que pueden absorber iones metálicos mediante interacciones por quelación o interacciones electroestáticas (p.13).

Por su parte Wei et al. (2019) sostiene que la tecnología de batería metal-aire es una nueva tecnología emergente en cuanto al tratamiento del agua y recientemente se vienen llevando a cabo investigaciones preliminares para la eliminación del As, y fosforo en agua, así como el tratamiento de aguas residuales (p.5).

Según Mohora et al. (2019) de acuerdo a su investigación en la que evaluó el rendimiento de un reactor a escala de laboratorio con electrodos combinados de Fe-Al, sostuvo que un reactor por electrocoagulación con electrodos combinados

Fe-Al, puede ser una herramienta candidata, prometedora y asequible para eliminar As en aguas subterráneas que puede ser utilizada para consumo en asentamiento rurales (p.13). y Yehia et al. (2015) en su investigación para tratar iones de Cr (VI) de aguas residuales mediante la electrocoagulación aplicando un reactor electroquímico discontinuo de lecho fijo, sostiene que con un adecuado diseño de la superficie anódica, corriente y tensiones bajas puede disminuir el cromo en un corto tiempo de coagulación (p.9).

El óxido de grafeno un nuevo tipo de material que tiene la facilidad de combinarse con óxidos metálicos u orgánicos del que se forma compuestos de grafeno con una alta posibilidad de absorción de MP y elementos radioactivos puesto que este compuesto de óxido de grafeno y tamiz molecular es un nuevo material con excelentes propiedades físicas y químicas (Xiunling, 2021, p.6-7). y por su parte Ali et al. (2019) en su investigación sobre las tecnologías de tratamiento para el cromo a base de nanomateriales, determino que los nanomateriales actuales más avanzados deben ser herramientas más prácticos para la remediación y absorción de metales pesados tóxicos ya que adolecen de múltiples limitaciones incluido los costes, así mismo sugiere que las futuras investigaciones deberían examinar nuevos materiales y nanomateriales para futuros tratamientos de metales pesados (MP) que sean rentables y técnicamente viables (p.13).

Además, se sostiene que la aplicación de oxidación avanzada (ozono + CE) puede ser una tecnología alternativa de bajo coste que puede aplicarse en combinación con otras tecnologías para eliminar metales pesados (Dumitru, Florescu, Girbaciú y Vaju, 2020, p.9). y la tecnología de electrocoagulación para la recuperación de MP en aguas negras y/o residuales, ha demostrado que es económicamente factible., sin embargo, estas tecnologías son aún limitadas esencialmente en las aplicaciones a gran escala que aún están en sus fases iniciales (Liming et al, 2021, p.11).

Paralelamente las estructuras tridimensionales de Polímeros-metal-carbono para la eliminación de sustancias químicas y biológicas tienen una excelente absorción para el Cr (IV) según el estudio realizado por Sasidharan, Sachan, Chauhan, Talreja y Ashfaq (2021) en su investigación de estructuras tridimensionales para la eliminación de sustancias químicas y biológicas (p.12).

Por otro lado, Mayacela-Rojas et al. (2021) manifiesta que la eliminación de metales de transición en acuíferos contaminados, mediante la tecnología de barrera reactiva permeable (PRB), a gran escala aún son limitados., sin embargo, esta técnica podría convertirse en una buena opción, especialmente en países en desarrollo debido a su baja inversión de operación y mantenimiento. Del mismo modo se investigó el comportamiento reactivo de distintos materiales como: fibras naturales, precisamente fibras de cabuya o agave americana y agave sisalana, así como tres zeolitas naturales como clinoptilolita, mordenita y mordenita sódica para tratar a tres metales de transición como: el Zinc, Cobre y Cadmio, concluyendo que la zeolita natural mordenita es la más adecuada y prometedora, para la absorción de los metales de transición investigados (p.21-22).

Según Rahman et al. (2021) en su estudio de investigación de ligando de poli (ácido hidroxámico) para la remoción de metales tóxicos en aguas residuales sintetizado de residuos de celulosa extraída de las fibras de frutas de desecho como *Durio zibethinus* “durián” y *Pandanaceae pandanus* “pandan” obtuvieron el ácido hidroxámico que tiene una excelente eliminación de metales hasta un 90-99% de iones metálicos tóxicos (p.19).

La utilización de componentes biológicos como las cepas unicelulares de *Saccharomyces cerevisiae* para la descontaminación de MP, es una alternativa innovadora para eliminar concentraciones mínimas de  $As^{+3}$ ,  $As^{+5}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $Pb^{2+}$  en agua para beber (Moreno-Rivas y Ramos-Clamont, 2020, p.14). la biorremediación se le considera una buena solución ya que es muy eficiente, de bajos costos y factible para remediar MP sin embargo con la ingeniería genética se podría incorporar genes aox en microorganismos para que estas sean más eficientes y se debe realizar lo más antes posible puesto que puede ser importante para el proceso de biorremediación (Rodríguez et al, 2017, p.6-7).

Otro estudio experimental realizado por Swee et al. (2021) para la eliminación y recuperación del Zinc en aguas residuales industriales con pilas de combustible microbiana MFC. Determinó de manera teórica que esta tecnología es viable para eliminar el Zn de las aguas residuales industriales hasta en un 96-99 % (p.14). por su parte el biocarbón modificado químicamente de palma mediante un tratamiento ácido-base, pueden mejorar sus propiedades de absorción (Imran-Shaukat et al,

2021, p.10). y Mun, Shukor, Mokhtar y Shoparwe (2021) manifiestan que las células libres y la biomasa de algas que estén inmovilizados con alginato sódico de *Kappaphycus striatum* demostraron ser muy eficientes para la absorción de iones de cobre en una solución acuosa (p.9).

Los cultivos de algas representan un interesante tratamiento de MP en aguas negras y/o residuales por su potencial de eliminar metales pesados (Cobaliu et al, 2020, p.4). y las nanopartículas de celulosa y nano fibras de celulosa son aún explorados para la purificación del agua sin embargo estos materiales a base de celulosa han demostrado una buena capacidad para tratar contaminantes específicos como los iones metálicos puesto que tienen una abundancia de grupos químicos en su superficie como hidroxilo o carbonilo que ayudan a absorber contaminantes según la investigación de membranas funcionales de celulosa para tratamiento de aguas por (Georgouvelasa et al, 2021, p.1). por su parte en un estudio realizado por Al-Senani y Al-Fawzan (2018) para la absorción de iones de metales pesados de una solución por nano partículas de hierbas silvestres concluyo que las hiervas puede ser utilizadas como absorbentes para la eliminación de iones metálicos pesados (p.7).

La purificación del agua utilizando diferentes cortezas de frutas para la eliminación de metales pesados ha demostrado ser útil como soporte de biosorción de metales pesados (Al-Qahtani, 2016, p.8). y los bisorbentes a partir de materiales vegetales como neem, eucalipto, madera de piña, cascara de almendra, cascara de nuez y aserrín tienen una buena eficiencia para la inmovilizar MP como Cu, Zn, Pb, Cr, y Ar, mejorando de un porcentaje normal a excelente a excepción del arsénico, de las cuales la proveniente de madera de piña, eucalipto y neem son más eficientes para la eliminación de metales pesados, y destaca el de piña que alcanza hasta un 99 % de eficacia para Cu seguido del aserrín con 75 % y 80 % para cloruro de hierro FeCl<sub>3</sub> y sulfuro de hierro FeSO<sub>4</sub> (Arshad y Imram, 2020, p.5). igualmente, para la eliminación de iones de plomo en agua, puede tratarse mediante métodos orgánicos por ejemplo utilizando cascara de naranja mediante la bioadsorción en lugar de utilizar productos químicos nocivos para la eliminación de metales pesados (Mondal, Yadav y Siddiqui, 2020, p.6-7).

A la fecha hay una amplia gama de mecanismos y estrategias para la biorremediación y fitorremediación en suelos que en aguas., sin embargo, cuantos más estudios aborden la importancia de la biodiversidad en términos de fitorremediación de metales pesados en agua, más posibilidades hay en la explorar y proporcionar mecanismos para la eliminación de metales pesados utilizando distintas especies y patentes asociados (Delgado-Gonzales et al, 2021, p.15).

Para Verma, Balomajumder, Manigandan y Gumfekar (2021) Los usos de membranas son mejores técnicas para el tratamiento de desechadas, estas tienen una amplia versatilidad y capacidad para separar componentes en corrientes acuosas, sin embargo a pesar de los logros en la aplicación de nanotecnología en los procesos de membranas , poco se logró eliminando metales en aguas vertidas debido a que su eficiencia se limita por ensuciamiento de la membrana, en ese sentido se recomienda seguir trabajando en nuevas técnicas de fabricación de membranas de tal modo que se supere y controle el ensuciamiento de estas tecnologías de membranas (p.10).

Para Khalil, Buddin, Shah y Puasa (2020) la membrana líquida en emulsión se manifiesta como una técnica excelente para la eliminación de MP según su estudio donde comparo el rendimiento de extracción de la membrana líquida de emulsión utilizando herramientas de dispersión como un agitador convencional y la columna Taylor-Couette (TCC). De esta manera se demostró que el agitador convencional a 400 rpm x 20 minutos tubo el 99.52 % para Cu y en 10 minutos el 95.47 % de eficiencia para cadmio, por su parte TCC fue inferior con 96.38 % a 200 rpm para Cu y un 81.59 % para Cd a 600 rpm con tiempos de 5 y 3 minutos respectivamente (p.1).

Otros casos como utilización de la tecnología de membranas dinámica de nylon de acetato de celulosa “nylon-ACd” ha demostrado ser eficiente comparado con la membrana de nylon-PS “poliestireno”, del cual se vio su alta selectividad de la membrana de nylon-ACd con alusión a los iones de hierro, cobre y cromo a un 92 %, reduciendo así la cantidad de iones de metales en agua para beber (Fazullin y Fazylova, 2020, p.6).

Por su parte Dubrovscaya, Kulagin y Limin (2020) sostienen que la introducción de tecnologías de cavitación hidro termodinámica para intensificar las depuraciones de efluentes industriales y tratar metales pesados permitirá aumentar un ciclo cerrado del uso del agua, aumentando la sostenibilidad del medio ambiente en parques industriales (p.9). sin embargo, en china, la filtración biolenta en arena para el tratamiento del agua de recojo de lluvias demostró que puede lograr mejores resultados de calidad como tecnología de tratamiento y tiene una amplia perspectiva para la aplicación en aguas de recojo de lluvias debido a que es fundamental para resolver problemas en zonas con escasas hídrico que recojan agua de lluvia (Liu et al, 2019, p.8).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es básica, y el diseño de investigación es cualitativo.

Y según lo señalado, se le define a la investigación, como aquellos procesos sistemáticos, empíricos, que se aplican al estudio de un problema (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.51). Así mismo, este presente estudio es básica o pura porque busca estudiar un problema, enfocándose especialmente a la búsqueda de conocimientos (Baena, 2017, p.32). por su parte Escudero y Cortez, (2017). Señala que una investigación básica, se enfatiza exclusivamente en lo teórico ignorando los fines prácticos (p.19).

El diseño de la investigación es cualitativo, porque es aquel que tiene base en el estudio del conocimiento científico, en las técnicas o métodos de interpretación de estudios y comprender los fenómenos o hechos mediante la revisión bibliográfica; sus procedimientos de indagación se ajustan a un sistema ordenado, que recolecta información de forma empírica de distintas fuentes, materiales, estudios de casos, etc. Así mismo tiene un enfoque en comprender los fenómenos o problemas desde el punto de vista de los participantes en su entorno natural y en relación a las circunstancias que le rodean. (Escudero et al, 2017, p.44).

#### 3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

Para este estudio de investigación se presenta las siguientes categorías y sub categorías así como matriz de caracterización apriorística.

**Tabla 3.** Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategorías	Unidad
Identificar las tecnologías limpias de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en	De qué forma las tecnologías limpias de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados inciden para su aplicación en	Tecnologías según su método	Filtración por membrana	(Pabón et al. 2020), (Pozo et al 2020), (Wei et al. 2019), (Mohora et al. 2019), (Yehia et al, 2015), (Ali et al. 2019), (Dumitru et al. 2020), (Liming et al. 2021), (Mayacela-Rojas et al. 2021), (Khalil et al. 2020), (Fazullin y Fazylova, 2020), (Dubrovscaya et al. 2020), (Liu et al. 2019)
			Intercambio Iónico	
			Por adsorción y/o bioadsorción, biosorción.	
			Precipitación química	

el ámbito social, 2021.	el ámbito social, 2021.		Electrocoagulación	
			Coagulación-floculación	
			Electro floculación	
Analizar los componentes de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021.	¿Cuáles son los componentes de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados que inciden para su aplicación en el ámbito social, 2021?	Componentes	Químicos	(Sasidharan et al. 2021), (Khalil et al. 2020)
			Físicos	(Pabón et al. 2020), (Wei et al. 2019), (Mohora et al. 2019), (Yehia et al. 2015), (Ali et al. 2019), (Xiuling, 2021)
			Biológicos u orgánicos	(Thakare et al. 2021), (Fouda-Mbanga et al. 2021), (Mayacela-Rojas et al. 2021), (Rahman et al. 2021), (Moreno-Rivas y Ramos-Clamont. 2020), (Rodríguez et al. 2017), (Swee et al. 2021), (Imran-Shaukat et al. 2021), (Mun et al. 2021), (Cobaliu et al. 2020), (Georgouvelasa et al. 2021), (Al-Senani y Al-Fawzan. 2018), (Arshad y Imram, 2020), (Delgado-Gonzales et al. 2021), (Mondal et al. 2020), (Fazullin y Fazylova. 2020)
Establecer la capacidad de retención de metales pesados de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas que incide para su aplicación en el ámbito social, 2021	Cómo es la capacidad de retención de metales pesados de las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas que incide para su aplicación en el ámbito social, 2021.	Capacidad de retención	Porcentaje %	(Rahman et al. 2021), (Swee et al. 2021), (Al-Qahtani. 2016), (Khalil et al. 2020), (Fazullin y Fazylova. 2020), (Liu et al. 2019)

Fuente: elaboración propia

### 3.3. Escenario de estudio

La investigación es cualitativa porque busca y procesa datos esencialmente cualitativos por lo que no hace el uso de la estadística ni técnicas cuantitativas para el procesamiento de información y emplea procedimientos de búsqueda e interpretación para el análisis de la información (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018 p.80).

Es por ello que el escenario de estudio está basado en una revisión sistemática en relación a las tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados para su aplicación en el ámbito social de acuerdo a las investigaciones desarrolladas en tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados y como estas vienen incidiendo en el ámbito social.

### **3.4. Participantes**

Para esta investigación los participantes lo constituyen artículos de revistas indexadas, libros en línea, leyes, paginas institucionales del estado y estudios de universidades de origen nacional e internacional: Scopus, Sciencedirect, SciELO, Google académico, repositorio universitario y Ministerios, siendo esta el origen de la información que se utilizó para consolidar esta investigación.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recopilado de datos son los medios por las cuales se recopilan la información de una investigación y el instrumento de recolección de datos son las herramientas que sirven para la recopilación de información (Sánchez et al, 2018, p.78,120). En ese sentido se utilizó la técnica de recolección de información online mediante el uso de tecnologías digitales y la técnica de lectura y documentación que consiste en la búsqueda y lectura e interpretación, para adquirir información relacionada al tema de la investigación de fuentes con documentos en formato digital como libros online, revistas electrónicas, informes de investigaciones, base de datos, ponencias, periódicos, boletines, congresos y demás (Orellana y Sánchez, 2006, p.3).

### **3.6. Procedimiento**

Para esta investigación se inició con el procedimiento de búsqueda de la información, según el título y palabras relacionadas a la investigación o temática a tratar por el cual se recopiló la información en revistas indexadas y otros medios como libros, paginas institucionales, una vez obteniendo la cantidad suficiente de información se procedió a descartar la información irrelevante así como ver la duplicidad de la información, posteriormente se tradujo las investigaciones que se encontraban en el idioma inglés al español, como se detalla a continuación.

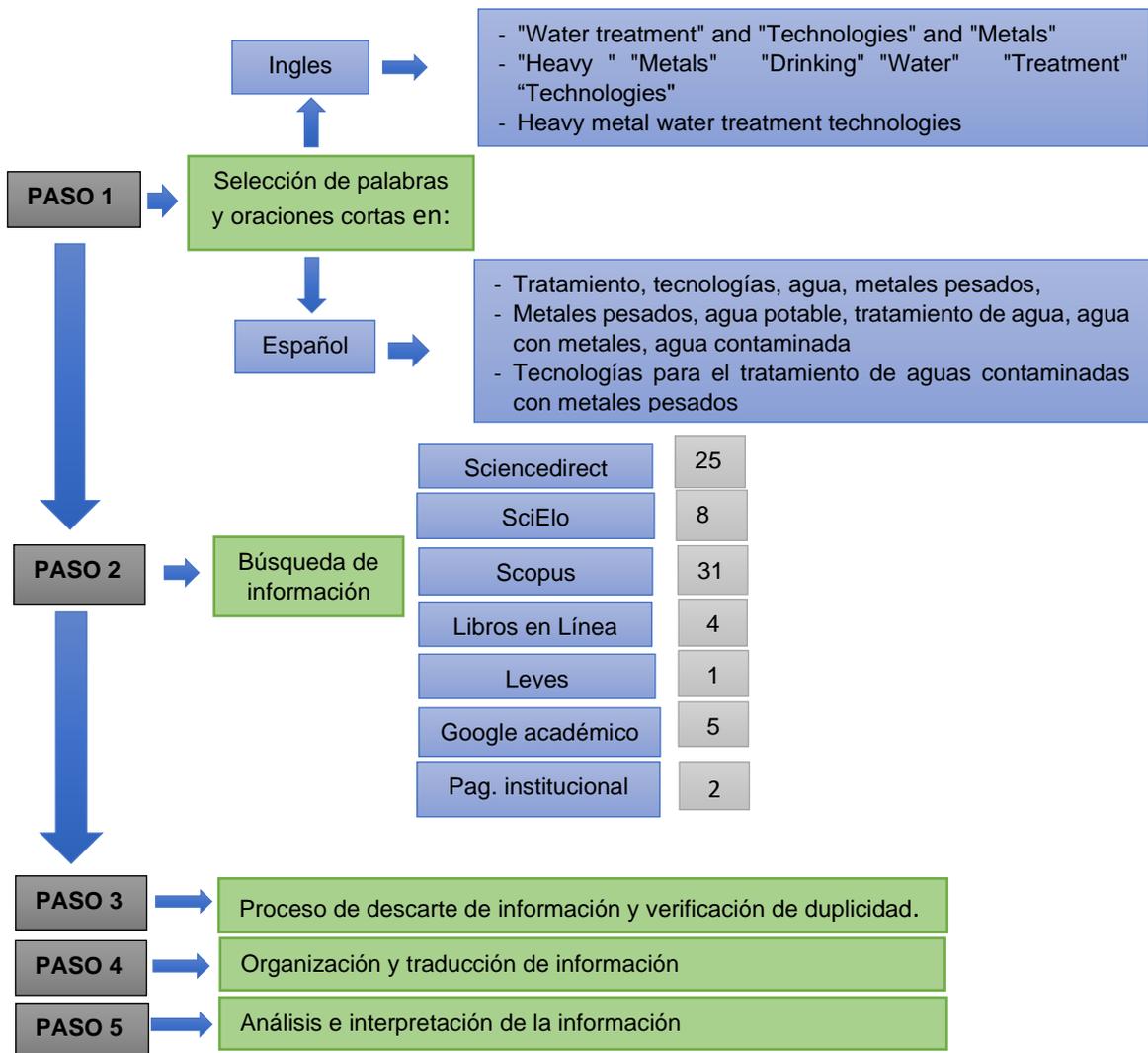


Figura 1. Proceso de recopilación y revisión de información bibliográfica.

Fuente: elaboración propia

### 3.7. Rigor científico

De acuerdo a Arias y Giraldo (2011) en relación al rigor científico en la investigación cualitativa, manifiesta que esta debe ser coherentes con las asunciones, las bases epistemológicas y los axiomas propios del paradigma en la cual se sitúa el enfoque de la investigación (p.13). así mismo Castillo y Vásquez (2003) mencionan que los criterios del rigor científico en la investigación cualitativa son la credibilidad la auditabilidad o confirmabilidad, así como la transferibilidad (p.2). entendiéndose de la siguiente manera.

**Tabla 4. Criterios en el rigor científico**

<b>CRITERIO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b>Credibilidad</b>	Se consigue cuando los hallazgos de la investigación son verídicos y reconocidos como reales y verdaderos.
<b>Confirmabilidad</b>	Es aquella interpretación natural ese análisis de información que se consigue cuando un nuevo investigador puede seguir la pista a la fuente de la investigación original y conseguir similitudes en sus hallazgos.
<b>Transferibilidad</b>	es cuando los resultados son transferibles a otros contextos o grupos.

Fuente: elaboración propia adaptado de (Castillo y Vásquez, 2003, p.2).

Entendiendo la definición teórica del rigor científico, se puede asegurar que la presente investigación cumple con rigor científico puesto que la información que se utiliza es verídica, confiable, coherente y sujeto a la credibilidad ya que los fuetes se encuentran citadas según la norma ISO 690-2 conforme a la adaptación realizada por la UCV de la norma internacional ISO.

### **3.8. Métodos de análisis de información**

En esta investigación cualitativa el método utilizado es por medio de la técnica de búsqueda, revisión y análisis documental de la información según el tema, puesto que se busca no solo describir hechos sino también comprenderlos mediante un análisis de los datos con un carácter creativo y dinámico (Rodríguez, 2006, p.11). para posterior análisis e interpretación, así como su estructuración para la presente investigación.

### **3.9. Aspectos éticos**

De acuerdo a la ciencia se debe evitar conductas no éticas es decir haciendo las cosas moralmente bien, la investigación cualitativa comparte varios puntos de vista con la convencional, por tanto, los criterios éticos aplicables a la ciencia son aplicables a la investigación cualitativa (Gonzales, 2002, p.12). por consiguiente, esta investigación cumple con los requisitos éticos para una investigación puesto que sigue los lineamientos de redacción de informes de investigación de acuerdo a la Resolución N° 0200-2018/UCV y las Normas ISO 690-2, para la información que sustenta esta investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación, se ha realizado una búsqueda de información sistematizada en revistas indexadas como Scopus, CsiElo y ScienceDirect y Google académico sobre los estudios de investigación en tecnologías para tratar metales pesados (MP) en el agua, para su aplicación en el ámbito social.

En ese sentido se ha recopilado e identificado un gran número de estudios de investigación sobre las tecnologías de tratamiento de metales pesados (TMP) en el agua, de las cuales se utilizaron 31 estudios, de unos 76 referencias de estudios relacionados a esta investigación para ser analizados en este capítulo, con el objetivo de identificar los componentes más influyentes en las tecnologías y como estas vienen influyendo en su aplicación en el ámbito social, de tal manera que puedan ser tomadas en cuenta para la solución de los problemas de contaminación ambiental por MP en el agua; para ello se detallara en las siguientes páginas.

**Tabla 5.** *Tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados (MP).*

TECNOLOGÍAS SEGÚN SU MÉTODO	ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE METALES PESADOS	ABREVIATURA	REFERENCIAS
Filtración por membranas (TFM)	Mejora de la eficiencia de eliminación de iones de metales pesados mediante la deposición de polianilina sobre membranas de poliacrilonitrilo electrohilado.	TFM-E1	(Mohammad y Atassi, 2021).
	Membranas de ultrafiltración mixtas de Polifenilsulfona/nanotubos de carbono de pared múltiple: Fabricación, caracterización y eliminación de MP como Pb 2+, Hg 2+, y Cd 2+ de soluciones acuosas	TFM-E2	(Shekhar et al, 2020)
	Preparación de una membrana híbrida a partir de fibrillas de proteína de suero y carbón activado para eliminar el mercurio y el cromo del agua	TFM-E3	(Ramírez-Rodríguez et al, 2020)
	Recuperación del cromo de las aguas residuales de la industria del curtido mediante la tecnología de separación por membranas: aspectos sanitarios y de ingeniería	TFM-E4	(Mohammed y Sahu, 2019)

<b>Intercambio iónico (TI)</b>	Aerogeles de biopolímeros de óxido de grafeno para la eliminación del plomo del agua potable mediante una novedosa cascada de intercambio iónico nano-mejorada	TI-E1	(Blooer J.M et al, 2021)
	Selección de resinas de intercambio iónico para la eliminación peligrosa de Ni (II) de soluciones acuosas: método de adsorción por lotes cinética y de equilibrio	TI-E2	(Wolowicz y Wawrzkievicz, 2021)
<b>Por adsorción y/o bioadsorción, biosorción (TABB)</b>	Retención de metales pesados de los relaves mineros mediante tecnosoles preparados con suelos nativos y nanopartículas	TABB-E1	(Bolaños-Guerrón, Capa y Cumbal, 2021)
	Acoplamiento de la producción de lacasa a partir de <i>Trametes pubescence</i> con la eliminación de metales pesados para el tratamiento económico de aguas residuales	TABB-E2	(Enayatizamir et al, 2020)
	Uso de microesferas de nanocompuesto de zeolita/alcohol polivinílico/alginate de sodio para la eliminación de algunos metales pesados de las aguas residuales	TABB-E3	(Isawi, 2020)
	Eficiencia del polvo de <i>Acacia Gummifera</i> como bisorbente para la descontaminación simultánea de aguas contaminadas con metales	TABB-E4	(Jamoussi et al, 2020)
	Estudio de adsorción de iones de metales pesados de una solución acuosa por nanopartículas de hierbas silvestres	TABB-E5	(Al-Senani y Al-Fawzan, 2018)
	Demostración a escala de campo de la inmovilización in situ de metales pesados mediante la inyección de barreras de adsorción de nanopartículas de óxido de hierro en aguas subterráneas	TABB-E6	(Sadjad et al, 2021)
	Purificación del agua utilizando diferentes cortezas de frutas de desecho para la eliminación de metales pesados	TABB-E7	(Al-Qahtani, 2016)
	Recuperación de aguas pluviales urbanas contaminadas que contienen metales pesados: Experimentos de laboratorio con Arlita y Filtralite	TABB-E8	(Pla et al, 2021)

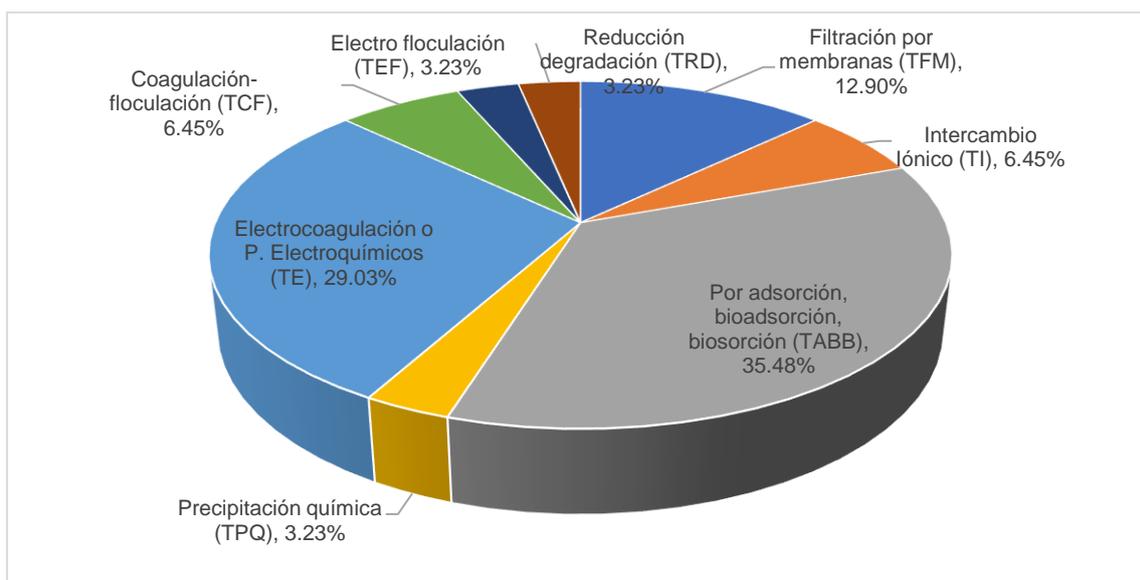
	Adsorción de iones de metales pesados mediante ladrillos permeables de concha de ostra	TABB-E9	(Xia C, Zhang y Xia L, 2021)
	Preparación de un adsorbente compuesto de óxido de grafeno y tamiz molecular y su rendimiento de adsorción para metales pesados en el agua	TABB-E10	(Xiuling, 2021)
	Mejora de la eliminación del cadmio de las aguas residuales con <i>Biochar</i> y <i>Bacillus subtilis</i> acoplados	TABB-E11	(Ding et al, 2021)
<b>Precipitación química (TPQ)</b>	Recubrimientos de hidroxiapatita sobre polvo de calcita para la eliminación de metales pesados del agua contaminada	TPQ-E1	(Gibert et al, 2021)
<b>Electrocoagulación o procesos electroquímicos (TE)</b>	Mecanismo de eliminación y corriente efectiva de la electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales que contienen Ni (II), Cu (II) y Cr (VI)	TE-E1	(Huang et al, 2020)
	Tratamiento de metales pesados procedentes de una planta de mineral de hierro por electrocoagulación	TE-E2	(Das y Nandi, 2021)
	Proceso de electrocoagulación mejorado para tratar metales como Fe y Mn en aguas residuales Municipales mediante dielectrophoresis	TE-E3	(Almukdad et al, 2021)
	Electrocoagulación para la eliminación de cobre de los residuos de destilería	TE-E4	(Jack et al, 2014)
	Recuperación electroquímica y reutilización de alto valor añadido de los iones de metales pesados de las aguas residuales Avances recientes y tendencias futuras	TE-E5	(Liming et al, 2021)
	Tratamiento de aguas superficiales contaminadas con arsenito mediante electrocoagulación de flujo continuo con aire y cátodos	TE-E6	(Bisara, Iqbal y Hidayat; 2019)
	Inmovilización de arsénico como escorodita cristalina por electro cristalización por difusión de gas	TE-E7	(Pozo et al, 2020)

	Eliminación de arsénico de aguas subterráneas altamente contaminadas mediante electrocoagulación con hierro-investigación de los parámetros del proceso y cálculo de la dosis de hierro	TE-E8	(Muller et al; 2021)
	Eliminación y recuperación de zinc de aguas residuales industriales con una pila de combustible microbiana: Investigación experimental y predicción teórica	TE-E9	(Lim; et al 2021)
<b>Coagulación-floculación (TCF)</b>	Eliminación de metales e hidrocarburos de las aguas pluviales mediante coagulación y floculación	TCF-E1	(Nystrom et al, 2020)
	El floculante de biopolímeros de <i>Tacca leontopetaloides</i> a base de plantas produjo una alta eliminación de iones de metales pesados a baja dosis	TCF-E2	(Mohd et al, 2021)
<b>Electro floculación (TEF)</b>	Estudio experimental sobre el tratamiento de aguas residuales que contienen cromo mediante floculación eléctrica	TEF-E1	(Liu et al, 2018)
<b>Reducción degradación (TRD)</b>	Aislamiento y caracterización bioquímica de bacterias resistentes a los metales pesados procedentes de los efluentes de las teneñas de la ciudad de Chittagong, Bangladesh: Punto de vista de la biorremediación	TRD-E1	(Marzan et al; 2017)

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la búsqueda de los estudios de investigación que utilicen tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas, se tiene a 31 tecnologías más recientes para resultados y discusiones como se muestra en la tabla N° 5. De las cuales se identificó la dispersión de las tecnologías según sus métodos de aplicación, teniendo a las tecnologías por filtración por membranas (FM), utilizadas por (Mohammad et al; 2021), (Shekhar et al; 2020), (Ramírez-Rodríguez et al; 2020), (Mohammed y Sahu; 2019); Tecnología de intercambio iónico (TI) utilizadas por (Bloor J.M et al; 2021) y (Wolowicz et al; 2021); adsorción, bioadsorción, biosorción (TABB) por (Bolaños-Guerrón et al; 2021), (Enayatizamir et al; 2020), (Isawi, 2020), (Jamoussi et al; 2020), (Al-Senani et al; 2018), (Sadjad et al; 2021), (Al-Qahtani; 2016), (Pla et al; 2021), (Xia et al; 2021), (Xiuling; 2021) y (Ding et al, 2021); Precipitación química (TPQ) por (Gibert et al; 2021); electrocoagulación o procesos

electroquímicos (TE), realizado por (Huang et al; 2020), (Das et al; 2021), (Almukdad et al; 2021), (Jack et al; 2014), (Liming et al; 2021), (Bisara et al; 2019), (Pozo et al; 2020), (Muller et al; 2021) y (Lim; et al 2021); coagulación-floculación (TCF) utilizados con (Nyström et al; 2020) y (Mohd et al; 2021); electro floculación (TEF) por (Liu et al; 2018) y reducción-degradación (TRD) por (Marzan et al; 2017). Entre estas tecnologías identificadas, la distribución se muestra según la figura 2.



*Figura 2.* Distribución de las tecnologías para su aplicación según su método

Fuente: elaboración propia

De la figura 2 podemos confirmar que las tecnologías identificadas según su distribución; vienen desarrollándose según los métodos más influyentes para su aplicación de acuerdo a lo mostrado en la tabla 2 de (Pabón et al; 2021) sin embargo se identificó para este estudio el método de reducción degradación de (Marzan et al; 2017), que en conjunto buscan el tratamiento de metales pesados (TMP), así mismo de los 31 casos de investigación influyentes por su método, las tecnologías por adsorción, bioadsorción y biosorción (ABB), representan el 35.48 %; seguido de la tecnología de electrocoagulación (TE) con 29.03%; las tecnologías de filtración por membranas (TFM) con un 12.90 %; las tecnologías de intercambio iónico (TI) con 6.45 %; tecnologías de coagulación floculación (TCF) 6.45 % y las tecnologías por precipitación química (TPQ), electro floculación (TEF), reducción degradación (TRD) con un 3.23% respectivamente para este estudio. En

ese sentido, continuando con el objetivo 1, se realiza un análisis mediante una clasificación, para determinar que tecnologías de las mencionadas, inciden más sobre las demás, y en qué manera según se detalla en la siguiente tabla 6.

**Tabla 6.** Tecnologías según su tipo, componentes, potencial de eliminación y su enfoque de aplicación en el ámbito social.

Tratamientos utilizados de según cada tecnología	Condicionante (C) según sea el caso de cada Tec.		Eliminación de Metales Pesados	Potencial de eliminación % y mg/g	Objetivo de la investigación	Ámbito de aplicación	Componentes y Materiales	Referencias
	C1	C2						
<b>TFM</b>								
<b>TFM-E1</b>							Físicos	
Utilizando una membrana de poliacrilonitrilo (MPN)	No indica (-)	-	Pb	99 % a 5mg/l	Preparar membranas de poliacrilonitrilo recubierta de una membrana de polianilina para la adsorción de iones de MP, como el Pb <sup>2+</sup> Cr. Y determinar su eficiencia de eliminación	Eliminar iones de metales pesado (MP) como el cromo y plomo en aguas residuales,	Utilizando membrana de poliacrilonitrilo y membrana de polianilina	(Mohammad y Atassi, 2021)
	-	-	Cr	90% a 5mg/l				
<b>TFM-E2</b>							Físicos	
Utilizando una membrana de ultra filtración mixta	-	-	Pb <sup>2+</sup>	98 %	Fabricar membranas de matriz mixta de ultra filtración de Polifenilsulfona /nanotubos de carbono de pared múltiple/polivinilpirrolidona/1-metil-2-pirrolidona para determinar la capacidad de eliminación de MP como Pb <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> y Cd <sup>2+</sup>	eliminar iones de MP en aguas en general	Utilizando membranas de matriz mixta de ultrafiltración Polifenilsulfona y nanotubos de carbono de pared múltiple/polivinilpirrolidona/1-metil-2-pirrolidona (MWCNT)	(Shekhar et al, 2020)
	-	-	Hg <sup>2+</sup>	76 %				
	-	-	Cd <sup>2+</sup>	72 %				
<b>TFM-E3</b>							Físicos	
Utilizando membranas híbridas	T. 74 °C	7 h con 3.8 % PS	Cr	Adsorción 18 mg/g y 57 %	Determinar las condiciones adecuadas para preparar proteínas de suero como fibras. Para fabricar membranas híbridas de fibras de suero con carbón activado para maximizar la eficiencia de eliminación de MP	Eliminar MP en agua en aguas en general	Utilizando fibras de suero y carbón activado	(Ramírez-Rodríguez et al, 2020)
			Hg	C. adsorción 25 mg/g y 81% de E.				
<b>TFM-E4</b>							Físicos	

separación por membranas.	Con una concentración 4200 mg/l y caudal 0.62 m <sup>3</sup> /h	Presión de 40 bar	Cr	Logro una permeación 45 g/min/cm <sup>2</sup> AFC 99 para presiones de 30 bar o atm	Estudiar los diferentes parámetros y tipos de membranas para la eliminación del Cr. Finalmente utilizando la osmosis inversa.	Eliminación de MP en aguas residuales de las industrias de curtiduría.	Utilizando las membranas de osmosis inversa, nanofiltración y ultrafiltración,	(Mohammed y Sahu, 2019)
<b>(TI)</b>								
TI-E1							Físicos	
Mediante el uso de Aerogeles de óxido de grafeno	-	En 240 min	Pb <sup>2+</sup>	Taza de adsorción 500 mg/g	Desarrollar un aerogel a partir de la sinterización de óxido de grafeno reticulado con alginato para determinar la eficiencia de eliminación de MP.	Eliminación de cationes de plomo en agua potable.	Utilizando escamas de grafeno de pureza al 99.8 % y alginato	(Bloor J.M. et al, 2021)
TI-E2							Físicos	
Utilizando resinas intercambio iónico	-	-	Ni (II)	Capacidad de adsorción 62.4 %	Utilizar resinas de intercambio iónico de diferentes tipos mediante distintas concentraciones de HCl y HCl/HNO <sub>3</sub> . Para determinar la eficiencia y porcentaje de eliminación mediante la adsorción, siendo el mejor en su utilización el Lewatit MonoPlus TP220: resina de intercambio catiónico	Eliminación de Ni (II) en soluciones acuosas.	Utilizando Resinas de Intercambio iónico de Lewatit MonoPlus TP220:	(Wolowicz y Wawrzkievicz, 2021)
<b>(TABB)</b>								
TABB-E1							Físicos	
Mediante el uso de tecnosoles	-	-	Cu	En promedio 75 a 90 %	Evaluar la retención de los MP mediante el uso de tecnosoles preparados con suelos ricos en hierro y partículas multicomponente de Fe/FeS, utilizando extracto de cascara de naranja y plátano y borohidruro de sodio como sintetizadores y	Eliminación y tratamiento de MP generados por los relaves mineros.	Utilizando suelos ricos en hierro y nanopartículas de morfología esférica con un tamaño de rangos de 35,9 ,11.7 nm producto de la sinterización mediante la	(Bolaños-Guerrón, Capa y Cumbal, 2021)
	-	-	Cd					
	-	-	Pb					
	-	-	Zn					

	-	-	Cr		agentes reductores. Para la eliminación de MP.		utilización de extracto de cascara de naranja y borohidruro de sodio (NaBH <sub>4</sub> ) como agentes reductores.	
	-	-	As					
TABB-E2								Biológicos u orgánicos
Mediante el uso de la especie de <i>Trametes pubicence</i>	-	-	Pb	99 %	Evaluar el impacto del Ni y Pb en el crecimiento de la Lacasa del hongo de <i>Trametes pubicence</i> (F. Polyporaceae), para determinar la eficiencia de eliminación de MP	Eliminación de los MP en las aguas residuales	Utilizando hongos de <i>Trametes pubicence</i>	(Enayatizmir et al, 2020)
	-	-	Ni	8.6 %				
TABB-E3								Físicos
Utilizando micropartículas nano compuestos de zeolita con alcohol polivinílico y alginato de sodio	A 25°C después de un tiempo de equilibrio de 120 min	A un pH 6	Pb <sup>2+</sup>	95.5 %	Utilizar microesferas o micropartículas, a partir de la sinterización de Alcohol polivinílico/alginato sódico (PVA/SA) mediante su mezcla y reticulación con glutaraldehído. Mas nano partículas de zeolita, creando perlas nanocompuestos para determinar la eficacia de eliminación de los MP	Eliminar metales pesados en aguas residuales	Utilizando micropartículas de Alcohol polivinílico/alginato sódico y nano partículas de zeolita	(Isawi, 2020)
			Cd <sup>2+</sup>	99.2%				
			Sr <sup>2+</sup>	98.8%				
			Cu <sup>2+</sup>	97.2%				
			Zn <sup>2+</sup>	95.6%				
			Ni <sup>2+</sup>	93.1%				
			Mn <sup>2+</sup>	92.5%				
			Li <sup>2+</sup>	74.5%				
		Y pH 5	Fe <sup>3+</sup>	96.5 %				
	Al <sup>3+</sup>	94.9%						
TABB-E4								Biológicos u orgánicos
Utilizando polvo de la especie <i>Acacia gummifera</i> de la familia Fabaceae)	A pH 6.5	A 15 min se equilibró la absorción	Pb	18.3 mg/g y 97% de eficiencia	Utilizar material bisorbente, como la goma de la especie de <i>Acacia gummifera</i> (F. fabaceae) como bisorbente, mediante el intercambio iónico, sorción física y quelación entre la biomasa los contaminantes. para determinar la eficiencia de eliminación por sorción de MP.	Eliminar MP de aguas de los efluentes industriales	<i>Acacia gummifera</i> (goma)	(Jamoussi et al, 2020)
			Cd	9,57 mg/g y 86%				

TABB-E5				Biológicos u orgánicos			(Al-Senani y Al-Fawzan, 2018)	
Utilizando nanopartículas de hierbas silvestres	-	-	Co	capacidad de adsorción máxima, 50 µm de partículas x 0.5 g de adsorbente	Utilizar hierbas silvestres como el <i>Equisetum hyemale</i> o <i>Equisetum EH</i> de la familia Equisetaceae (cola de caballo) y el género <i>Teucrium TH</i> para realizar la adsorción de MP mediante las nanopartículas de producto de la síntesis de las hierbas de manera endotérmica para eliminar los MP.	Eliminar MP en aguas en general		Utilizando hierbas silvestres como <i>Equisetum</i> , EH (cola de caballo) y <i>Teucrium</i> , TH
	-	-	Li					
	-	-	Cd					
TABB-E6				Físicos			(Sadjad et al, 2021)	
Mediante la inyección de nanopartículas de óxido de hierro como barreras. (goethitas)	-	-	Zn	La concentración se redujo en un 50 %	Desarrollar un nuevo tratamiento para establecer barreras de adsorción permeables in situ, utilizando nanopartículas de óxido de hierro coloidal (goethitas). Para eliminar MP mediante la adsorción.	Eliminar MP en aguas subterráneas de acuíferos		Utilizando óxidos de hierro coloidal (goethita)
	-	-	Pb					
	-	-	Cu					
TABB-E7				Biológicos u orgánicos			(Al-Qahtani, 2016)	
Mediante la utilización de cortezas de frutas	-	-	Cd <sup>2+</sup>	30%	Utilizar diferentes residuos de cortezas de frutas como el plátano, kiwi y mandarina, mediante el molido y pulverizado en partículas de 1 a 2nm, para determinar la eficacia de eliminación por biosorción, encontrando la mejor eficacia en las partículas de 1 nm de kiwi y mandarina.	Eliminar MP en agua contaminado con metales tóxicos		Utilizando desechos de frutas como el plátano, mandarina y kiwi
	-	-	Zn <sup>2+</sup>	25%				
	-	-	Cr <sup>2+</sup>	35%				
TABB-E8				Físicos			(Pla et al, 2021)	
Utilizando Arlita y Filtralite	-	filtralite	Ni	En promedio 90 %	Busca la utilización de la arlita y filtrate para la sorción de MP mediante su superficie rugosa por donde se da la generación de reacciones de intercambio iónico y precipitación con la finalidad de determinar su capacidad de eliminación de metales pesados, por sorción.	eliminación e MP de las aguas pluviales y urbanas.		Utilizando arlita leca y filtralite
			Cu					
			Zn					
			Cd					
			Pb					
	-	arlita	Ni	En promedio 76%				
		Cu						
		Zn						
		Cd						
		Pb						

TABB-E9					Físicos			(Xia C, Zhang y Xia L, 2021)
Utilizando ladrillo a partir de conchas de ostra permeable.	-	-	Ni (II)	86.91 %	Determinar los efectos de adsorción sobre los iones de MP bajo diferentes contenidos de ostras de conchas, mediante el uso de ladrillos fabricados con oxido de calcio producto de la fundición a 800 °C de las ostras de conchas y así medir variables como tiempo de adsorción, pH etc. Para determinar la capacidad de eliminación de iones de MP por adsorción.	Enfocado a la eliminación de MP en aguas en general	Para la preparación del experimento se utilizó cemento portland N° 425, piedra triturada natural, arena estándar conchas de ostras, diatomita aditivos y agua (p.2).	
	-	-	Zn (II)	81.43%				
	-	-	Mn (II)	71.26%				
TABB-E10					Físicos			(Xiuling, 2021)
Utilizando oxido de grafeno-Tamiz como adsorbente	25° C	120 min	Pb	El promedio es de: 74.8 %	Mejorar la utilización de los tamices con compuesto de óxido de grafeno, para determinar su eficacia de adsorción de MP,	Eliminar MP en aguas residuales de industria de tintes	Utilizando tamices mejorados con óxidos de grafeno	
			Cu					
			Zn					
			Cd					
TABB-E11					Físico Biológicos			(Ding et al, 2021)
Utilización de biochar (carbón vegetal) y <i>Bacillus subtilis</i>	-	23h	Cd	62 % con biocarbón de maíz el máximo.	Formar sistemas compuestos mediante la utilización conjunta de biocarbón de tallo de maíz, cascara de cacahuate y madera de pino, con la bacteria <i>Bacillus subtilis</i> de la familia (Bacillaceae) para eliminar MP por adsorción, donde el biocarbón mejora la adsorción de la bacteria	eliminación de MP en aguas residuales	Utilizando biocarbón y bacterias	
(TPQ)								
TPQ-E1					Químicos			(Gibert et al, 2021)
Utilizando Hidroxiapatita y polvo de calcita	-	pH 8	Zn	89 %	Recubrir el polvo de calcita con una capa de hidroxiapatita para realizar la remoción de MP por intercambio iónico y precipitación en aguas contaminados con MP	Eliminación de MP en aguas residuales	Utilizando polvo de calcita e hidroxiapatita	
			Cu	99%				

(TE)							
TE-E1							
Mediante la utilización de mecanismos de corriente efectiva de electro-coagulación	Después de 2 min	-	Cu (II)	Un promedio 88%	Aclarar los mecanismos de eliminación y calcular la corriente efectiva de electrocoagulación. Con el fin de eliminar MP mediante la inyección de corriente causando la oxidación del ánodo de aluminio para producir hidróxido de aluminio Al(OH) <sub>3</sub> con la reducción del cátodo como coagulante para determinar la eficacia de la eliminación MP	Eliminar MP en aguas residuales de galvanoplastia	Utilizando láminas de aluminio como ánodo consumible y cátodos de grafito
	Después de 10 min	-	Cr (VI)	En promedio 44%			
TE-E2							
por medio de la electro-coagulación	Con pH 7.09; corriente 68.50 A/m <sup>2</sup> ; separación a 1 cm entre placas	Conductividad de 1033 ms/cm	Fe	95.5%	Explorar varios parámetros de funcionamiento de la Electrocoagulación, con electrodos, de diferentes configuraciones, densidad de corriente, materiales, etc. Del cual se utilizó electrodos de aluminio en modo monopolar que obtuvo mayor eficiencia de eliminación de MP.	Eliminar MP de las aguas provenientes de la industria de beneficio de mineral de hierro.	Utilizando celdas de electrocoagulación y electrodos de aluminio
			Cr	99.46%			
			Cu	73.44%			
			Mn	97.99%			
			Pb	99.33%			
TE-E3							
Mediante una electrocoagulación mejorado	A 60 min con 0.5 cm entre electros de separación	Con una corriente de 800 mA	Fe	96.8 %	Evaluar la utilización de nuevas configuraciones de los electrodos en la electrocoagulación. Y utilizando electrodos de aluminio para determinar los máximos porcentajes de eliminación de los MP mediante una configuración que induce una mayor fuerza dieléctrica.	Eliminar MP en aguas residuales municipales	Utilizando celdas la electrocoagulación con ánodos de aluminio
			Mn	66 %			
TE-E4							
Físicos							

Mediante una electrocoagulación para eliminar Cu	-	-	Cu	88%	Evaluar el potencial de electrocoagulación para eliminar MP, mediante uso de aguas de destilería sin sacar sus lías de cobre para no pasivar los electrodos, para tener la máxima reducción cobre en el agua.	Eliminar MP en aguas provenientes de destilería de wiski	Utilizando una celda electroquímica con capacidad de 2L/min con placas de acero. (p.2-3)	(Jack et al, 2014)
TE-E5								Físicos
Con procesos electroquímicos	-	En promedio puede recuperarse:	Cu	99%	Hacer un repaso de los estudios realizados mediante los procesos electroquímicos siendo una prometedora tecnología para el tratamiento de metales pesados de aguas residuales, se considera una tecnología limpia y Versátil y compatible con el medio ambiente (Yang et al; 2021, p.1-2)	Eliminación de MP de las aguas en general	Por lo general los materiales son electrodos de ánodos y cátodos de distintos materiales. Según sus configuraciones o métodos teniendo los procesos electroquímicos, por adsorción, por oxidación, reducción precipitación (p.3).	(Liming et al, 2021)
			Cd	99%				
			Pb	99%				
			Te y +	85%				
TE-E6								Físicos
Mediante la utilización de electrocoagulación de por cátodos de aire con ánodos de distintos materiales	-	Ánodo de hierro	As	99%	Utilizar un reactor de electrocoagulación por cátodo de aire siendo una tecnología nueva que combina la electrocoagulación y las pilas de combustible con adición de energía externa para lograr la mejor eficiencia de eliminación de MP	Eliminar MP en aguas superficiales	Utilizando un reactor de electrocoagulación y ánodos a partir de hierro, aluminio y magnesio	(Bisara, y Hidayat, 2019)
	-	Ánodo de Al.		17%				
	-	Ánodos de Ms		73%				
TE-E7								Físicos
Utilizando As3+ como precursor en un reactor de (ECz)	50°	-	Fe2+	70 %	Proponer el electro cristalización del arsénico en por medios electroquímicos, mediante electro cristalización por difusión de gas (GDEx) para la inmovilización del arsénico en escorodita altamente cristalina (FeAsO4-2H2O) mediante la producción in situ de	Eliminar mediante la inmovilización de MP	Utilizando un reactor experimental de 3 cámaras, la primera mantiene un flujo de oxígeno constante, con una presión de 26 mbar, sobre una capa hidrofóbica de	(Pozo et al, 2020)
	50°	-	As3+					

					sustancias oxidantes (es decir, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) en electrodos de difusión de gas		un cátodo de difusión de gas multicapa formado por un colector de corriente, una capa activa de carbón activado y una capa hidrofóbica, colector de energía de acero inoxidable con de 100 µm de diámetro.	
TE-E8								
Electrocoagulación con ánodos de hierro	-	-	As (II)	99.9 %	Utilizar tres reactores discontinuos de electrocoagulación con electros paralelos monopolar y centrándose en el estudio de electrocoagulación mediante hierro con densidad de corrientes constantes y voltajes variables para determinar la eficacia de la eliminación de MP	Eliminar el arsénico de manera eficiente de las aguas subterráneas.	Utilizando electrodos de Hierro con 3 reactores discontinuos diferentes de forma experimental	(Müller et al, 2021)
TE-E9								
Uso de una pila de combustible microbiana (PCM)	-	22h	Zn <sup>2+</sup>	96%	Estudiar la viabilidad de la eliminación de zinc de los efluentes industriales utilizando pilas de combustible microbianas (MFC), con la finalidad de maximizar la eficiencia de eliminación de MP	Eliminar MP en aguas residuales industriales	Utilizando una pila de combustible microbiana que consistió en un ánodo abiótico y un cátodo separado por una membrana de intercambio iónico.	(Lim et al, 2021)
				2 mm a 0.07 mm				
(TCF)								
TCF-E1								
Proceso de coagulación floculación	-	-	Cd	En promedio los resultados son del: 90 %	Consistió en evaluar la eficacia del tratamiento de coagulación/floculación y sedimentación utilizando 5 coagulantes en 3 réplicas dando 15 pruebas en frascos, para lo cual los experimentos utilizaron	Eliminación de los metales pesados de las aguas pluviales.	Utilizando 5 coagulantes de cuales fueron el alumbre, 2 coagulantes de aluminio prehidrolizados, un	(Nystrom et al, 2020)
			Cr					
			Cu					
			Ni					
			Pb					

			Zn		nieve contaminada con nieve prístina como agua de tormenta imitando al agua de deshielo. Con el fin de determinar la eficacia de eliminación		cloruro de hierro y un quitosano.	
TCF-E2								Biológicos u orgánicos
Utilización de un Floculante de biopolímero de la especie de <i>Tacca leontopetaloides</i> (familia Dioscoreaceae)	con dosis de 120mg/l a partir de concentración de 10 % de floculante de polímero de Taca	pH 10	Zn	98%	Consistió en utilizar un bio floculante biopolímero a partir de la especie <i>Tacca leontopetaloides</i> sin modificar sus cadenas polimerizas estructurales para determinar la eficacia de la eliminación de MP	Eliminación de metales pesados a bajas dosis en el agua en general	Utilizando bio floculante de biopolímero de <i>Tacca leontopetaloides</i> .	(Mohd et al, 2021)
			Pb	80%				
			Ni	98%				
			Cd	93%				
(TEF)								
TEF-E1								Físicos
Tratamiento mediante floculación eléctrica	Con un tiempo de 1hy placas separado en 1cm	Y Densidad de corriente 1.5 con pH 6	Cr	64%	Realizar la floculación eléctrica aplicando energía externa mediante los electrodos de placas de aluminio con la finalidad de que las soluciones se hidrolicen y polimericen para producir complejos de óxidos e hidróxidos que reaccionen con los iones de cromo de 6 valencias para formar precipitados de floculante y eliminar los iones de Cr. Determinar la eficiencia de eliminación.	Eliminación de los metales pesados en aguas residuales con cromo	Utilizando una celda electro floculación con placas de aluminio como ánodos	(Liu et al, 2018)
(TRD)								
TRD-E1								Biológicos u orgánicos
Mediante la utilización de bacterias	De las 3 cepas	Gemella sp	Pb	55.16 %	Aislar e identificar bacterias naturales capaces de reducir metales pesados de los efluentes, basándose en características morfológicas, fisiológicas, químicas entre otros. Determinado el uso de genero <i>Gemella sp</i> , <i>Micrococcus sp</i> y <i>Hafnia sp</i> . Para analizar el potencial degradativo e MP	Eliminación de los MP de efluentes de curtiduría	Utilizando bacterias del género <i>Gemella sp</i> , <i>Micrococcus sp</i> y <i>Hafnia sp</i> .	(Marzan et al, 2017)
			Cd	50.99 %				
		Micrococos sp	Pb	36.55 %				
			Cd	38.64 %				

Fuente: elaboración propia

Del análisis de la información mostrada en la tabla 6 se determinó los resultados que se muestra en la figura 3

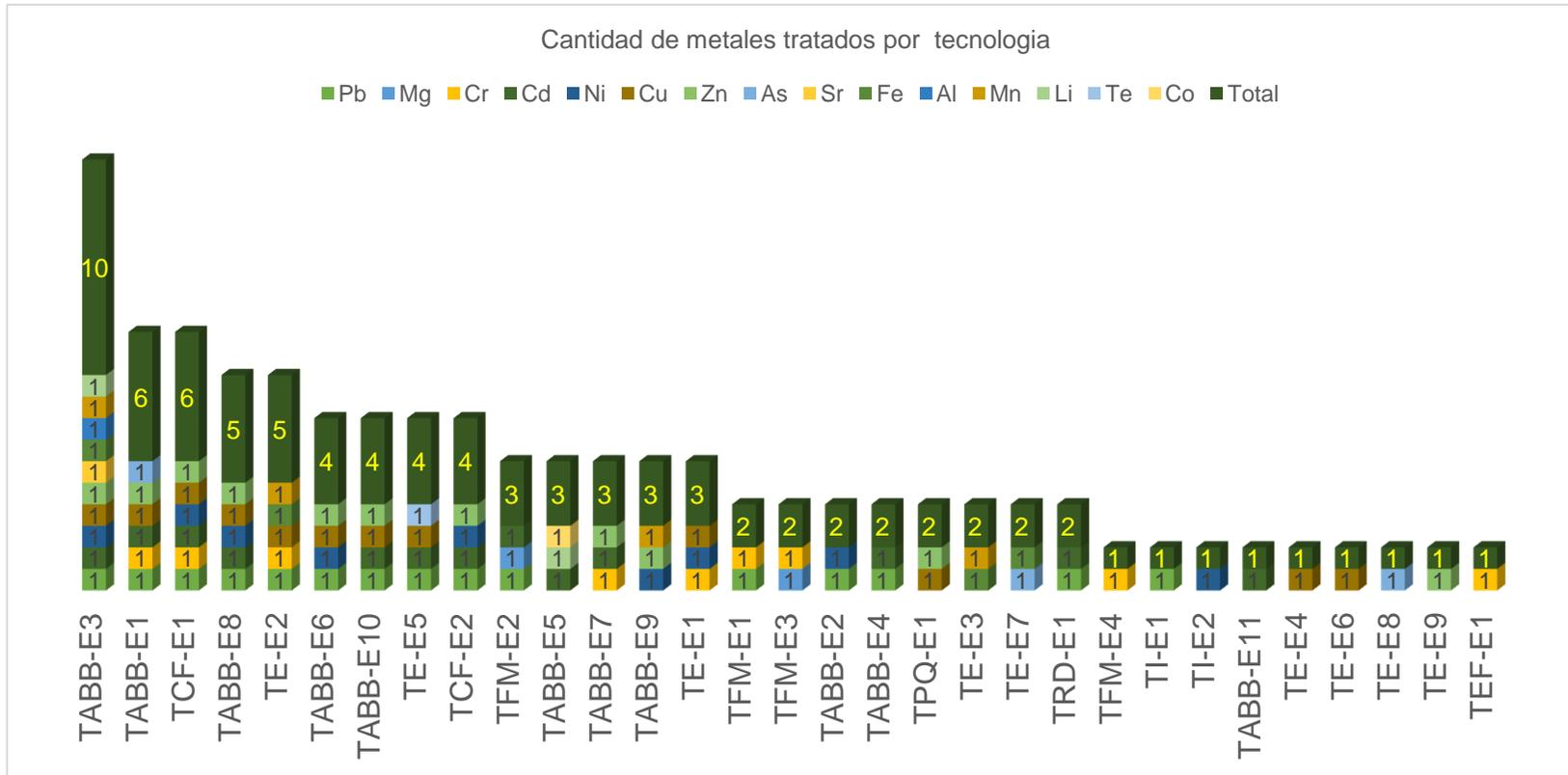


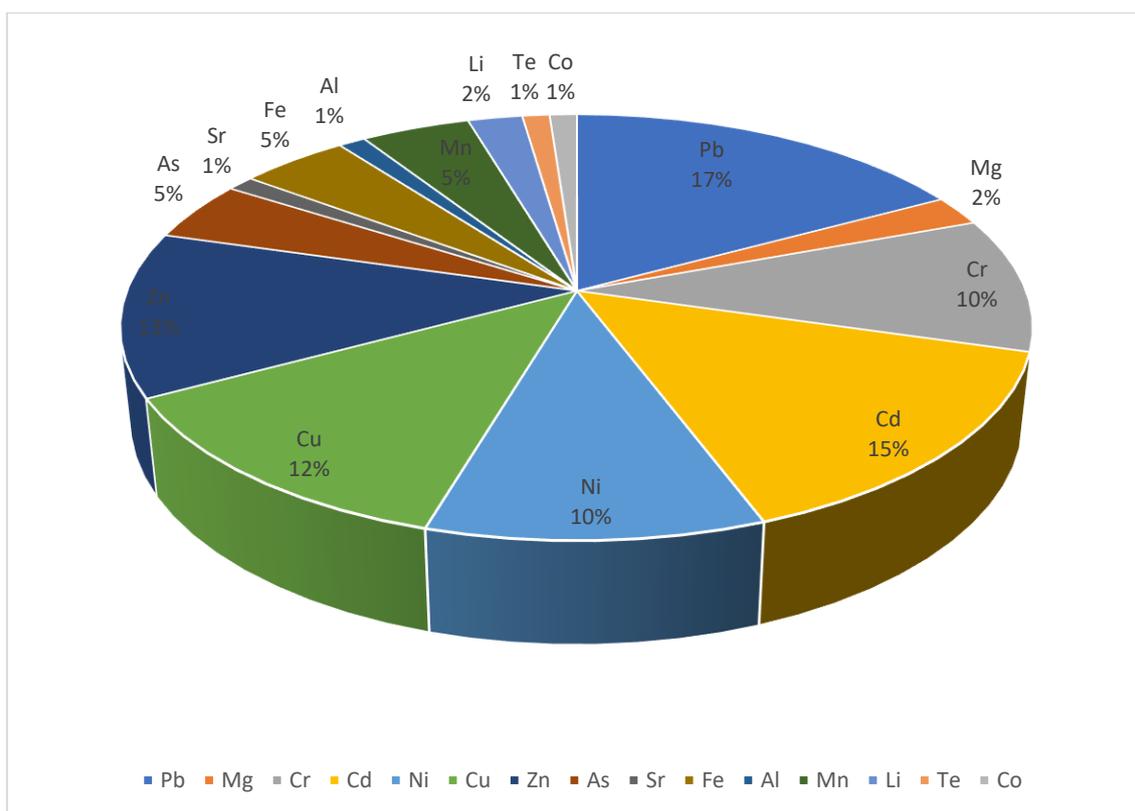
Figura 3. Tratamiento de MP por cantidad y tipo de metales pesados según cada tecnología

Fuente: elaboración propia

Y de la figura 3 se deduce el potencial de las tecnologías para incidir, para su aplicación en el ámbito social, por la cantidad de metales a tratar; siendo las tecnologías por el método de adsorción bioadsorción biosorción (TABB), y su vez las más representativas que inciden, son las tecnologías que utilizan micro partículas de nano compuesto de zeolita con alcohol polivinílico y alginato de sodio (E3), con la capacidad de realizar un tratamiento o eliminación de hasta 10 metales pesados como iones de Pb, Cd, Sr, Cu, Zn, Ni, Mn y Li con una eficiencia de 74.5% a 95.5 % en promedio y enfocando en la solución de residuales (Isawi, 2020); seguido de las tecnologías basados en el uso de tecnosoles preparados con suelos nativos (E1), con el potencial de eliminar a 6 MP como Cu, cd, Pb, Zn, Cr y As en un promedio de 75% a 90% enfocado en tratar aguas con relaves mineros (Bolaños-Guerrón et al; 2021); tecnología a base de la utilización de arlita y fíltrate (E8), con un potencial de eliminar a 5 MP como iones Ni, Cu, Zn, Cd y Pb y con una capacidad de sorción en promedio de 90% para filtralite y 76% utilizando arlita enfocado a tratar aguas pluviales (Pla et al 2021); tecnología mediante el uso de óxido de grafeno-tamiz (E10) con un potencial de tratar a 4 MP como iones de Pb, Cu, Zn, Cd, teniendo una eficacia en promedio de 74.8% para solucionar aguas residuales de las industrias de tintes (Xiuling; 2021) y las tecnología mediante el uso de nanopartículas de óxido de hierro en forma de goethitas (E6) para llevar a cabo el tratamiento de 3 MP como iones de Zn, Pb, Cu con una capacidad de adsorción en un 50% enfocándose en solucionar aguas subterráneas de acuíferos (Sadjad et al; 2021). Tecnologías por el método coagulación floculación (TCF), siendo los más representativos la tecnología de coagulación floculación (E1), con un potencial de realizar el tratamiento a 6 MP como iones de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn con una eficacia de 90 % en promedio para aguas pluviales (Nyström et al; 2020) y la tecnología a base de la utilización de un Floculante de biopolímero de la especie de *Tacca leontopetaloides* (E2), con el potencial de tratar a 4 MP, tales como Zn, Pb, Ni y Cd con una eficacia de 93% a 98% enfocado a aguas en general con bajas dosis de MP (Mohd et al; 2021). Y las tecnologías de electrocoagulación (TE), siendo las más influyentes el estudio 2 (E2) de electro-coagulación, que tiene el potencial de tratar a 5 MP como Fe, Cr, Cu, Mn y Pb con una eficiencia de 73.4 % a 99.33% enfocado a solucionar aguas de la industria de beneficio de hierro (Das y Nandi; 2021) y las tecnologías con procesos electroquímicos (E5), contando con el

de tratar a 4 MP como Cu, Cd, Pb y Te, y con el potencial de eliminar más metales pesados en un promedio de 85% a 99% enfocado a aguas en general (Liming et al; 2021).

De los resultados de las tecnologías más incidentes o influyentes por su método, y según la capacidad y número de eliminar MP se determinó a los metales que más inciden para su tratamiento de acuerdo a esta investigación, por las tecnologías como se muestra a continuación.



*Figura 4.* Metales pesados que más influyen para su tratamiento por las tecnologías.

Fuente: elaboración propia

Para la figura 4, los MP que más inciden para su tratamiento por las tecnologías, son el Pb que representa un 17 %; Cd con 15%; Zn 13%; Cu 12%; Ni y Cr con 10%; As, Fe y Mn con el 5%; Li y Mg con el 2 % y Sr, Al, Te y Co con el 1% en las tecnologías respectivamente.

Por otra parte se le entiende como un componente a algo que forma parte de un todo según el diccionario de la real academia española (RAE), es por ello que los componentes principales encontrados de las tecnologías son: a) físicos, que no requieren adicionar componentes químicos como aditivos o biológicos u orgánicos para llevar a cabo el tratamiento de metales pesados., b) componentes químicos, que son esenciales de las tecnologías para llevar a cabo la eliminación de MP siendo necesarios en su utilidad, sin estos, no habría remoción de MP por una tecnología que requiera de soluciones químicas o aditivos químicos para su aplicación y tratamiento, y c) componentes biológicos o de origen orgánico, siendo los principales actores o de carácter importante en el tratamiento de metales pesados en las aguas contaminadas, independientemente de los componentes a nivel analítico.

De acuerdo a la identificación de las tecnologías analizadas en este estudio para su aplicación, se determinó para el objetivo 2, los componentes utilizados en las tecnologías para su tratamiento de MP según se detalla a continuación.

**Tabla 7. Componentes utilizados por las tecnologías para el tratamiento de metales pesados y sus resultados.**

Tecnologías		Componentes	Resultados
Filtración por membranas	TFM-E2	Físicos	Los resultados muestran una eficiencia de eliminación en 99 %, 5mg/l de adsorción para Pb, 90% a 5mg/l de Cr, utilizando membrana de poliacrilonitrilo y membrana de poli anilina
	TFM-E2	Físicos	Utilizando membranas de matriz mixta la capacidad de eliminación de MP como Pb <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> y Cd <sup>2+</sup> fue de 98, 76 y 72 %
	TFM-E3	Físicos	Utilizando fibras de suero y carbón activado La adsorción fue de 18 mg/g y 57 % y 25 mg/g a un 81% de adsorción para Cr y Hg
	TFM-E4	Físicos	Utilizando las membranas de osmosis inversa con una concentración 4200 mg/l y caudal 0.62 m <sup>3</sup> /h, logro una permeación 45 g/min/cm <sup>2</sup> AFC 99 para presiones de 30 bar
Intercambio iónico	TI-E1	Físicos	Utilizando escamas de grafeno de pureza al 99.8 % y alginato en 240 min logro una adsorción 500 mg/g Pb <sup>2+</sup>
	TI-E2	Físicos	Utilizando Resinas de Intercambio iónico de Lewatit MonoPlus TP220 su Capacidad de adsorción fue 62.4 % Ni (II)
	TABB-E1	Físicos	La utilización de tecnosoles, logro la eliminación de un 75 % a 90% de MP para Cu, Cd, Pb, Zn, Cr

Adsorción y/o bioadsorción, biosorción	TABB-E2	Biológicos u orgánicos	El uso de hongos de <i>Trametes pubicense</i> como principal componente biológico logro una capacidad de eliminación de un 99 % de Pb y 8.8 % de Ni.
	TABB-E3	Físicos	El uso de micromoléculas de compuestos de zeolita con alcohol polivinílico y alginato de sodio como materiales principales logro una mayor eficiencia a 25 °C, a un pH 6 y pH 5 para Pb, Cd, Sr, Cu, Zn, Ni, Mn y Li y Fe, Al respectivamente.
	TABB-E4	Biológicos u orgánicos	Utilizando polvo de la especie <i>Acacia gummifera</i> a un pH de 6.5 y después de 15 minutos, se logró la eliminación de 18.3 mg/g en Pb y un 97% de eficiencia, así como un 9.57 mg/g y 86% de eficiencia para Cd
	TABB-E5	Biológicos u orgánicos	La utilización de componentes biológicos como nanopartículas de hierbas silvestres, de <i>Equisetum</i> , <i>EH</i> y <i>Teucrium</i> , <i>TH</i> , lograron capacidades de adsorción máximas de 50 µm de partículas de Co, Li y Cd con 0.50 g de adsorbente.
	TABB-E6	Físicos	Según los resultados mostrados por el Estudio N° 6, utilizando nanopartículas de óxido de hierro coloidal (goethita) como barreras. se pudo reducir la concentración de Cu, Pb, Zn hasta en un 50%.
	TABB-E7	Biológicos u orgánicos	Según los resultados de este estudio; la utilización de materiales de desechos de frutas como el plátano, mandarina y kiwi, logro la eliminación de Cd, Zn, Cr en 30%, 25% y 35 %.
	TABB-E8	Físicos	La utilización de Arlita y filtralite permitió la eliminación en promedio de 90 % de Ni, Cu, Zn, Cd, Pb utilizando filtralite y 76 % utilizando arlita para los mismos minerales
	TABB-E9	Físicos	De acuerdo al estudio la utilización de ladrillos a partir de conchas de ostras mezclado con cemento portland N° 425, piedras trituradas, arena estándar y aditivos más agua logro una eliminación de 86.91 %, 81.43 %, 71.26 % para Ni, Zn, Mn.
	TABB-E10	Físicos	La utilización del adsorbente a partir óxido de grafeno-Tamiz, pudo adsorber o eliminar en un 74.8 % en promedio para Pb, Cu, Zn, Cd
	TABB-E11	Físicos y Biológicos u orgánicos	Utilizando la especie de <i>Bacillus subtilis</i> de la familia <i>Bacillaceae</i> y biocarbón, de tallo de maíz después de 23 horas, los resultados mostraron una eliminación en promedio de 62 % para Cd.
	Precipitación química	TPQ-E1	Químicos
Electrocoagulación o proceso electroquímicos	TE-E1	Físicos	La tecnología basada en el uso de mecanismos de corriente efectiva de electrocoagulación, utilizando láminas de aluminio como ánodos consumibles y cátodos de grafito como electrodos inertes, de acuerdo a la investigación, después de 2 min, logro la eliminación de un 88 % de Cu y después de 10 min 44 % de Cr.
	TE-E2	Físicos	La utilización de placas de aluminio con alta pureza aplicando la electrocoagulación a un pH 7.09 y una corriente 68.50 A/m <sup>2</sup> , y una conductividad de 1033 ms/cm en la configuración monopolar dio resultados de 95.5%, 99.46%, 73,44%, 97.99 y 99.33% para Fe, Cr,

			Cu, Mn y Pb, de eliminación. Según el estudio de investigación
	TE-E3	Físicos	la investigación sobre la electrocoagulación mejorada que consistió en evaluar 3 configuraciones de las cuales concluyo que la configuración que utiliza 7 varillas de diámetros de 2mm unido a 7 láminas de aluminio de 5cm, logro la eliminación de un 96.8 % y 66% para Fe y Mn, con una corriente de 800 mA.
	TE-E4	Físicos	La tecnología de la electrocoagulación mediante el uso de una celda electroquímica con placas de acero, logro la eliminación de 88 % de Cu según el estudio realizado.
	TE-E5	Físicos	La tecnología de procesos electroquímicos en promedio puede recuperar o eliminar metales como Cu, Cd, Pb y Te, así como otros, en un 99%, y 85 %.
	TE-E6	Físicos	La utilización de la tecnología de electrocoagulación de flujo continuo según el estudio de investigación, puede eliminar en promedio hasta en un 99 % el As.
	TE-E7	Físicos	La tecnología de electrocoagulación utilizando As <sup>3+</sup> como precursor para eliminar MP por medios electroquímicos mediante la cristalización por difusión de gas para inmovilizar el arsénico en forma de escorodita altamente cristalina logro eliminar en la eliminación en promedio en 70 % de As y Fe.
	TE-E8	Físicos	La tecnología de electrocoagulación utilizando ánodos de hierro para que reaccionen con los contaminantes logro la eliminación del arsénico en un 99.9 % en configuraciones con altas dosis de hierro.
	TE-E9	Físicos	El estudio de investigación que consiste en la utilización de una pila de combustible microbiana, obtuvo resultados de eliminación después de 22 h en un 96 % de Zn, reduciendo 2mm a 0.07 mm el Zn
Coagulación-floculación	TCF-E1	Químicos	La tecnología de coagulación floculación, utilizando coagulantes como el alumbre, aluminio pre hidrolizado, y un cloruro de hierro y quitosano, en promedio logro resultado de un 90 % para la eliminación de MP, como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb.
	TCF-E2	Biológicos u orgánicos	La utilización de un floculante de biopolímero de la especie de <i>Tacca leontopetaloides</i> , a un pH10 logro en un 98 %, 80%, 98%, 93% de eliminación de metales como Zn, Pb, Ni, Cd.
Electro floculación	TEF-E1	Físicos	La tecnología de floculación eléctrica logro resultados en un 64 % para Cr después de 1 h a un pH 6 con una densidad de corriente de 1.5 respectivamente.
Reducción Degradación	TRD-E1	Biológicos u orgánicos	Usando bacterias del género <i>Gemella sp</i> , <i>micrococcus sp</i> ; se logró una eliminación de 55.16 %, 50.99% para Pb y Cd y en un 36.55 %, 38.64% Pb y Cd

Fuente: elaboración propia

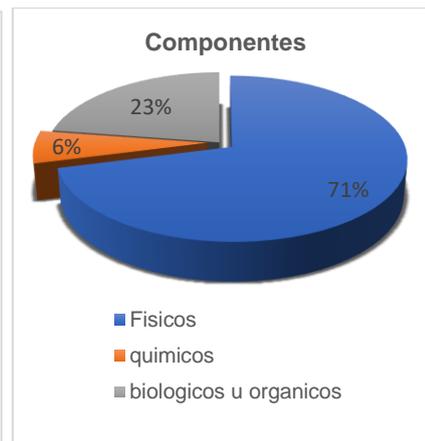
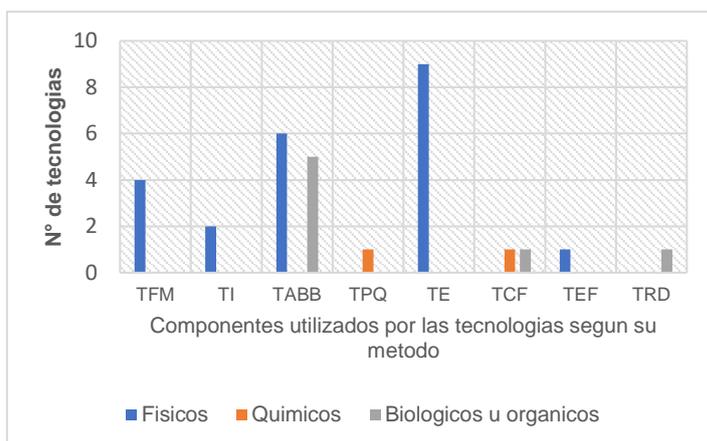


Figura 5. Dispersión de componentes en las tecnologías

Figura 6. % de componentes

Fuente: elaboración propia

Según lo mostrado en la figura 5, las tecnologías por electrocoagulación o procesos electroquímicos requieren de la utilización de componentes físicos, es decir que no es influyente el uso de compuestos químicos o de origen biológico u orgánicos para eliminar MP en el agua; seguido de las tecnologías por filtración por membranas, influenciado por el uso de componentes físicos; intercambio iónico y electro coagulación floculación. Por su parte la tecnología de ABB tiene más incidencia en el uso de componentes físicos y biológicos u orgánicos para eliminar MP. Sin embargo, las TPQ, en general requiere de componentes químicos para realizar la precipitación de los MP en el agua; así mismo la TCF es más influenciada por el uso de componentes químicos y biológicos u orgánicos para llevar a cabo el tratamiento de metales pesados (TMP); y la TRD generalmente utiliza componentes biológicos u orgánicos. En ese sentido los principales componentes utilizados por las tecnologías son los físicos que representan el 71 % seguido de los biológicos u orgánicos con el 23 % y finalmente los que requieren componentes químicos con 6 % como se muestra en la figura 6.

Del análisis realizado podemos mencionar que los componentes más incidentes para su utilización por las tecnologías está determinado por el método de tratamiento; por decir algunos casos la utilización de filtración por membranas requiere de componentes físicos, como membranas de distintos materiales y métodos, pudiendo ser de diferentes tipos, pero por lo general se basara en el uso de componentes físicos; o por ejemplo las tecnologías ABB, requieren del uso de

componentes físicos y biológicos u orgánicos en su gran mayoría sus procesos consisten en la sorción, adsorción, biosorción, bioadsorción, de MP en las partículas utilizadas por estas tecnologías pudiendo ser de origen biológico u orgánico o físico. Otro caso es coagulación floculación que utiliza componentes químicos, siendo materiales de diferentes tipos como por ejemplo el polvo de calcita e hidroxiapatita que permite la remoción de MP mediante la neutralización de los contaminantes formando una masa que atrapa partículas de modo que se pueda filtrar por filtros o sedimentar. Por su parte las tecnologías de electrocoagulación, usan componentes físicos, porque se basan en la adición de corriente eléctrica externa para generar óxidos, y formar coagulantes o floculantes mediante sus electrodos anódicos y catódicos, de esta manera eliminar los MP en situ.

En ese sentido se establece mediante la siguiente tabla la capacidad de retención y/o eliminación de las tecnologías.

**Tabla 8. Establecimiento de la capacidad de retención y/o eliminación de MP según las tecnologías por componente y ámbito de aplicación**

Tec.	Componente	Ámbito de aplicación para el tratamiento de MP	MP	Nivel de retención, y/o eliminación según estudio		Promedio
				en %	otras Und	
TFM-E1	Físicos	aguas residuales en general	Plomo (Pb)	99%	No indica (-)	95%
			Cromo (Cr)	90%		
TFM-E2	Físicos	aguas residuales en general	Plomo (Pb)	98%	-	82%
			Mercurio (Mg)	76%		
			Cadmio	72%		
TFM-E3	Físicos	en agua en general	Cromo (Cd)	57%	18 mg/g	69%
			Mercurio (Mg)	81%	25 mg/g	
TFM-E4	Físicos	aguas residuales industrial de curtiduría	Cromo (Cr)		45 g/min/cm2	45 g/min/cm2
<b>Intercambio Iónico (TI)</b>						
TI-E1	Físicos	Agua potable	Plomo (Pb)		500 mg/g	
TI-E2	Físicos	agua en general	Níquel (Ni)	62.4%		62.4%
<b>Adsorción, B.B (TABB)</b>						
TABB-E1	Físicos	aguas contaminadas con relaves mineros	Cobre (Cu)	Promedio 75 a 90 %	-	82.50%
			Cadmio (Cd)			
			Plomo (Pb)			
			Zinc (Zn)			
			Cromo (Cr)			
			Arsénico (As)			

TABB-E2	Biológicos u orgánicos	aguas residuales en general	Plomo (Pb)	99%	-	54%
			Níquel (Ni)	8.6%		
TABB-E3	físicos	aguas residuales en general	Plomo (Pb)	95.5%	-	93.8%
			Cadmio (Cd)	99.2%		
			Estroncio (Sr)	98.8%		
			Cobre (Cu)	97.7%		
			Zinc (Zn)	95.6%		
			Níquel (Ni)	93.1%		
			Manganeso (Mn)	92.4%		
			Litio (Li)	74.5%		
			Hierro (Fe)	96.5%		
			Aluminio (Al)	94.9%		
TABB-E4	Biológicos u orgánicos	aguas de efluentes industriales	Plomo (Pb)	97%	18.3mg/l	92%
			Cadmio (Cd)	86%	9.57mg/l	
TABB-E5	Biológicos u orgánicos	agua en general	Cobalto (Co)		50 µm x 0.5 g de adsorbente	
			Litio (Li)			
			Cadmio (Cd)			
TABB-E6	Físicos	aguas subterráneas	Zinc (Zn)	promedio 50%	-	50%
			Plomo (Pb)			
			Cobre (Cu)			
			Níquel (Ni)			
TABB-E7	Biológicos u orgánicos	agua en general	Cadmio (Cd)	30%	-	30%
			Zinc (Zn)	25%		
			Cromo (Cr)	35%		
TABB-E8	Físicos	aguas pluviales	Níquel (Ni)	en promedio 76 a 90 %	-	83%
			Cobre (Cu)			
			Zinc (Zn)			
			Cadmio (Cd)			
			Plomo (Pb)			
TABB-E9	Físicos	agua en general	Níquel (Ni)	86.91%	-	79.87%
			Zinc (Zn)	81.43%		
			Manganeso (Mn)	71.26%		
TABB-E10	Físicos	agua de industria de tintes	Plomo (Pb)	promedio 70.8 %	-	70.80%
			Cobre (Cu)			
			Zinc (Zn)			
			Cadmio (Cd)			
TABB-E11	Biológicos u orgánicos	aguas residuales en general	Cadmio (Cd)	62.00%	-	62%
<b>Precipitación química (TPQ)</b>						
TPQ-E1	Químicos	aguas residuales en general	Zinc (Zn)	99%	-	99%
			Cobre (Cu)	99%		
<b>Electrocoagulación o E. (TE)</b>						
TE-E1	Físicos	aguas residuales de galvanoplastia	Níquel (Ni)		-	66%
			Cobre (Cu)	88%		
			Cromo (Cr)	44%		
TE-E2	Físicos	aguas de industria de hierro	Hierro (Fe)	95.50%	-	93.14%
			Cromo (Cr)	99.46%		
			Cobre (Cu)	73.44%		
			Manganeso (Mn)	97.99%		
TE-E3	Físicos	aguas residuales municipales	Hierro (Fe)	96.80%	-	81.40%
			Manganeso (Mn)	66%		
TE-E4	Físicos	aguas residuales de destilería	Cobre (Cu)	88%	-	88%

TE-E5	Físicos	agua en general	Cobre (Cu)	99%	-	96%
			Cadmio (Cd)	99%		
			Plomo (Pb)	99%		
			Telurio (Te)	85%		
TE-E6	Físicos	aguas superficiales	Arsénico (As)	99%	-	99%
TE-E7	Físicos	agua en general	Hierro (Fe)	70%	-	70%
			Arsénico (As)			
TE-E8	Físicos	aguas subterráneas	Arsénico (As)	99.9%		99.90%
TE-E9	Físicos	aguas residuales industriales	Zinc (Zn)	96%	de 2 a 0.07 mm	96%
<b>Coagulación-floculación (TCF)</b>						
TCF-E1	Químicos	aguas pluviales	Cadmio (Cd)	promedio 90%	-	90%
			Cromo (Cr)			
			Cobre (Cu)			
			Níquel (Ni)			
			Plomo (Pb)			
			Zinc (Zn)			
TCF-E2	Biológicos u orgánicos	aguas en general	Zinc (Zn)	98%	-	92%
			Plomo (Pb)	80%		
			Níquel (Ni)	98%		
			Cadmio (Cd)	93%		
<b>Electro floculación (TEF)</b>						
TEF-E1	Físicos	aguas residuales en general	Cromo (Cr)	64%	-	64%
<b>Reducción/degradación (RD)</b>						
TRD-E1	Biológicos u orgánicos	efluentes de curtiduría	Plomo (Pb)	55.16%	-	53.08%
			Cadmio (Cd)	50.99%		

Fuente: elaboración propia

De la tabla 8, la capacidad de retención de MP por las tecnologías, puede variar según el tipo de tecnología, componentes y/o materiales utilizados incluso los métodos o técnicas utilizadas como se detalla en la tabla 6, sin embargo se refleja que las tecnologías identificadas enfatizan en la búsqueda de la eficiencia, eficacia y capacidad de remover y eliminar metales pesados expresando en una escala de porcentaje del 1 al 100 %, y Mg/g como el caso de TFM-E3, TFM-E4, TI-E1 y TABB-E4, de esta manera se puede medir el grado de eliminación o remoción de los MP de cada tecnología según se detalla en la tabla 8.

Finalmente podemos definir que las tecnologías para el tratamiento de MP, si inciden en su aplicación en el ámbito social a través la retención, eficiencia, eficacia y capacidad de eliminación de iones de MP mediante la utilización de diferentes componentes ya sean físicos, químicos o biológicos u orgánicos y sus respectivos materiales que forman parte de los componentes, así como los métodos utilizados por cada tecnología y los metales eliminados según el tipo de aguas a tratar.

Así mismo se determinó que las tecnologías mejoran la calidad del agua y buscar en la mejor medida posible aumentar sus capacidades de eliminación, mediante el estudio y uso de nuevas técnicas, métodos y materiales para el tratamiento de iones de MP, como lo señala Thakare et al (2021) que los futuros experimentos mediante las modificaciones genéticas de muchos microorganismos puede aumentar su capacidad de eficiencia para ser más viable que los componentes físicos y químicos utilizados en la actualidad (p.11). para las TABB por citar un caso; es por ello la calidad de su mejora se expresa mediante la capacidad de eliminación, según se detalla en la tabla 8, en un rango del 0% al 100 % de eficiencia y eficacia o expresado mg/g de concentraciones eliminadas por cada metal; siendo el promedio de 75 % a 90 % en términos generales en la eficiencia en eliminar MP según este estudio.

## V. CONCLUSIONES

- Se ha identificado que las tecnologías de tratamiento por adsorción bioadsorción biosorción (TABB) según el método de utilización, y considerando su capacidad de eliminar a más MP, son las tecnologías que inciden mejor para su aplicación en el ámbito social, contando con el potencial de eliminar varios MP como Pb, Mg, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Fe, Al, Mn, Li y Co; y en un gran ámbito de aplicación como (aguas residuales, de efluentes industriales, subterráneas, pluviales, de relaves mineros, de industrias de tinte y aguas en general). seguido de las tecnologías de coagulación floculación (TCF) con el potencial de eliminar iones de MP Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Zn y un ámbito de aplicación como (aguas pluviales y aguas en general). Y la tecnología por electrocoagulación (TEC) con el potencial de tratar a iones de MP tales como Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Zn, As, Fe, Mn y Te y a aplicado a aguas de (galvanoplastia, de industria de hierro, destilería, subterráneas, superficial, industriales y aguas en general).
- Se ha identificado que las tecnologías para el tratamiento de metales pesados (MP) requieren de componentes principales para lograr la eliminación de los contaminantes en el agua, siendo estas los físicos, biológicos u orgánicos y químicos. De las cuales las tecnologías por ABB, cuenta con la cualidad de combinar y utilizar los tres componentes resaltando los físicos y biológicos u orgánicos para realizar el tratamiento de metales pesados; por su parte las tecnologías FM, TE, TEF y TI utilizan por lo general componentes físicos; las TPQ se enfatizan en el uso de componentes químicos; las TRD por lo general utiliza componentes biológicos y la TCF puede basarse en el uso de componentes químicos y biológicos según sea conveniente para lograr el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados.
- La capacidad de retención y/o eliminación de MP, se expresó en porcentaje (%) en una escala de 0% a 100% en la mayoría de casos y en mg/g, indicando el grado de eficiencia o eficacia de cada tecnología para eliminar los contaminantes en el agua según la tecnología aplicada, tabla 8, siendo un indicador relevante que incide para su aplicación de las tecnologías de TMP en el ámbito social.

- Se ha determinado que las tecnologías de TMP mejoran la calidad del agua y buscan en la mejor medida posible aumentar sus capacidades de eliminación de MP, mediante el estudio y uso de nuevas técnicas, métodos y materiales para el tratamiento de iones de MP, y midiéndose a través de la capacidad de eliminación en una escala de 0 a 100 % o en mg/g.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Las tecnologías estudiadas, en su gran mayoría son a nivel experimental por lo que se recomienda, realizar estudios más profundos y a escala real con prototipos funcionales, para analizar la capacidad de retención de los metales pesados en flujos de agua constante con mayor volumen y caudal con el objetivo de determinar la eficiencia y la prolongación de la capacidad de retención y/o eliminación de los MP y así aumentar la capacidad de incidir en su aplicación al ámbito social.
- Se observó que las tecnologías en sus experimentos y estudios utilizan una gran variedad de materiales dentro de la clasificación de componentes ya por físicos, biológicos u orgánicos y químicos, de las cuales se recomienda realizar la estimación de costos por cada tecnología, ya que es de suma importancia para otros investigadores para cuantificar costos a escala real y estimar la factibilidad de su aplicación en los distintos sectores al ámbito social.
- se sugiere realizar una comparación más exhaustiva para establecer las diferencias que se vienen encontrando en la capacidad de eliminación de MP a lo largo de los años mediante los métodos, componentes, tipos de tecnologías, y aguas tratar.
- Se sugiere continuar investigando nuevas tecnologías que mejoren la calidad del agua, a su vez seguir perfeccionando la utilidad de cada tecnología y componente para aumentar la eficiencia y calidad en el tratamiento de aguas con metales pesados. Así mismo sugerir mayor aplicación de dichas tecnologías a una escala real para contener los crecientes problemas de contaminación por MP en muchas poblaciones dependientes del agua.

## REFERENCIAS

1. ALI, Maitlo, KI-HYUN, Kim, VANISH, Kumar, SUMIN, Kim y JAE-WOO, Park. Nanomaterials-based treatment options for chromium in aqueous environments. *Environment International* [en línea]. 130:13, setiembre 2019. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.020> ISSN: 0160-4120
2. ALMUKDAD, Abdulkarim, HAWARI, Alaa y HAFIZ, MhdAmm. An enhanced electrocoagulation process for the removal of fe and mn from municipal wastewater using dielectrophoresis (Dep). *Water* [en línea]. 13(4):1-16 febrero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101243596&origin=resultslist&zone=contextBox> ISSN: 2073-4441
3. AL-QAHTANI, Khairia. Water purification using different waste fruit cortexes for the removal of heavy metals. *Journal of Taibah University for Science* [en línea]. 10(5):1-8, septiembre 2016. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S165836551500148X> ISSN: 1658-3655
4. AL-SENANI, Ghadah y AL-FAWZAN, Fozia. Adsorption study of heavy metal ions from aqueous solution by nanoparticle of wild herbs. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* [en línea]. 44(3):1-7, septiembre 2018. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687428518300463> ISSN: 1687-4285
5. ARIAS, María y GIRALDO, Clara. Rigor científico en la investigación cualitativa. *Investigación y Educación en enfermería* [en línea]. 29(3):13, diciembre 2011. [fecha de consulta: 8 de junio del 2021]. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-53072011000300020&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072011000300020&lng=en&nrm=iso) ISSN: 2216-0280
6. ARSHAD, Nasima y IMRAN Saiqa. Indigenous waste plant materials: An easy and cost-effective approach for the removal of heavy metals from water. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* [en línea]. 3:5, Junio 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666086520300436> ISSN: 2666-0865
7. BAENA Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 3.ª ed. Ciudad de México: Grupo editorial patria; 2017 [fecha de consulta: 31 de Julio del 2021]. Disponible en [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf) ISBN: 9786077447481
8. BISARA, Daniya, IQBAL, Rofiq y HIDAYAT, Syarif. Treatment of surface water contaminated arsenite using continuous flow air-cathode electrocoagulation. *E3S Web of Conferences* [en línea]. 148:1-6, febrero del 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014802008> ISSN: 2267-1242
9. BOLAÑOS-GUERRÓN, Darío, CAPA, Jacqueline y CUMBAL Luis. Retention of heavy metals from mine tailings using Technosols prepared with native soils and nanoparticles. *Heliyon* [en línea]. 7(7):1-10, julio 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07631> ISSN: 2405-8440

10. BLOOR, J. M., AWAN, S. A., JENKINS, D. F.L y HANDY, R. D. Graphene oxide biopolymer aerogels for the removal of lead from drinking water using a novel nano-enhanced ion exchange cascade. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. 208:1-10, enero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651320312598> ISSN: 0147-6513
11. CASTILLO, Edelmira y VÁSQUEZ, María. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia medica* [en línea]. 34(3):2, 2003. [fecha de consulta: 08 de junio del 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/283/28334309.pdf> ISSN: 0120-8322
12. COVALIU, Cristina, STOIAN, Oana, NEDELICU, Ancuta, DEAK, Gyorgy y NOOR, Norazian. Biotechnology of water treatment based on algae cultures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 616(1):4, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/616/1/012081> ISSN: 1755-1315
13. DAS, Daisy y NANDI, Barun. Treatment of iron ore beneficiation plant process water by electrocoagulation. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. 14(1):1-14, enero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.008> ISSN: 1878-5352
14. DELGADO-GONZÁLEZ, Cristián et al. Advances and applications of water phytoremediation: A potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línea]. 18(10):15, May 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18105215> ISSN: 1660-4601
15. DING, Jing et al. Enhanced removal of cadmium from wastewater with coupled biochar and *Bacillus subtilis*. *Water Science and Technology* [en línea]. 83(9):1-10, mayo 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85106231811&origin=inward> ISSN: 1996-9732
16. DUBROVSKAYA, O, KULAGIN, A y LIMIN, Yao. The alternative method of conditioning industrial wastewater containing heavy metals based on the hydrothermodynamic cavitation technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea]. 34(1):9, Diciembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85099207849&origin=inward> ISSN: 1757-899X
17. DUMITRU, Petre, FLORESCU, Constantin, GIRBACIU, Alina y VAJU, Dumitru. The technologies optimization for the treatment of underground water with iron and arsenic content – A case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea]. 360(2):9, Diciembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85098007412&origin=inward> ISSN: 1757-899X
18. ENAYATIZAMIR, Naeimeh, LIU, Jing, WANG, Li, LIN Xiuying y FU, Pengcheng. Coupling Laccase production from *Trametes pubescence* with heavy metal removal for Economic Waste Water Treatment. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 37:1-6, octubre 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420302361> ISSN: 2214-7144

19. ESCUDERO, Leonel y CORTEZ, Liliana. Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica [en línea]. 1.ª ed. Machala Ecuador: Editorial UTMACH; 2018 [fecha de consulta 31 julio del 2021]. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf> ISBN: 9789942240927
20. FAZULLIN, D y FAZYLOVA, R. Purification of water from heavy metal ions by a dynamic membrane with a surface layer of cellulose acetate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 421(6):6, enero 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062032> ISSN: 1755-1315
21. FOUA-MBANGA, B, PRABAKARAN, E y PILLAY, K. Carbohydrate biopolymers, lignin-based adsorbents for removal of heavy metals (Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) from wastewater, regeneration and reuse for spent adsorbents including latent fingerprint detection: A review. *Biotechnology Reports* [online]. 30:1,13, June 2021. [fecha de consulta: 30 de junio 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X21000254> ISSN: 2215-017X
22. GEORGIOUVELAS, Dimitrios, ABDELHAMID, Hani, LI, Jing, EDLUND, Ulrica y MATHEW, Aji. All-cellulose functional membranes for water treatment: Adsorption of metal ions and catalytic decolorization of dyes. *Carbohydrate Polymers* [en línea]. 264:1, Julio 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861721004318> ISSN: 0144-8617
23. GIBERT, Oriol, VALDERRAMA, César, MARTÍNEZ, María, DARBRA, Rosa, MONCUNILL, Josep y MARTÍ, Vicenç. Hydroxyapatite coatings on calcite powder for the removal of heavy metals from contaminated water. *Water* [en línea]. 13(11):1-15, junio 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107788499&origin=resultslist&zone=contextBox> ISSN: 2073-4441
24. GOB.pe. Ministerio de Salud. 23 de febrero del 2020. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/84903-ninos-provenientes-de-pasco-reciben-atencion-especializada-por-exposicion-a-metales-pesados>
25. GOB.pe. Ministerio de Salud. 20 de agosto del 2020. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/295644-mas-de-400-personas-reciben-atencion-especializada-por-exposicion-a-metales-pesados-en-puno>
26. GONZALES, Manuel. Aspectos éticos de la investigación cualitativa. *Revista iberoamericana de educación* [en línea]. 1(29): 12, mayo-agosto, 2002. [fecha de consulta: 8 de junio del 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/800/80002905.pdf> ISSN: 1681-5653
27. GRUESO-DOMÍNGUEZ, María, CASTRO-JIMÉNEZ, Camilo, CORREA-OCHOA, Mauricio Y SALDAMAGA-MOLINA, Julio. Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce. *Rev. ing. univ. Medellín* [en línea]. 18(35): 3, julio-diciembre 2019. [fecha de consulta: 19 de junio 2021]. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242019000200069&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242019000200069&lng=en&nrm=iso) ISSN: 2248-4094
28. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 6.ª ed. México: Mcgraw-Hill., 2014 [fecha de consulta: 7 de junio del 2021]. Disponible en <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 9781456223960

29. HUANG, Chien-Hung, SHEN, Shan-Yi, DONG, Cheng-Di, KUMAR, Mohanraj, CHANG, Jih-Hsing. Removal mechanism and effective current of electrocoagulation for treating waste water containing Ni (II), Cu (II), and Cr (VI). *Water* [en línea]. 12(9):1-12, setiembre 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/w12092614> ISSN: 2073-4441
30. IMRAN-SHAUKAT, M, WAHI, R, ROSLI, N, AZIZ, S y NGAINI, Z. Chemically modified palm kernel shell biochar for the removal of heavy metals from aqueous solution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 765(1):12, mayo 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85107124860&origin=inward> ISSN: 1755-1315
31. ISAWI, Heba. Using Zeolite/Polyvinyl alcohol/sodium alginate nanocomposite beads for removal of some heavy metals from wastewater. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. 13(6):1-24, junio 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535220301155> ISSN: 1878-5352
32. JACK, Frances, BOSTOCK, John, TITO, Duarte, HARRISON, Barry y BROSANAN, James. Electrocoagulation for the removal of copper from distillery waste streams. *Journal of the Institute of Brewing* [en línea]. 120(1):1-4, enero 2014 [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84892805164&origin=resultslist&zone=contextBox> ISSN: 0046-9750
33. JAMOUISSI, Bassem, CHAKROUN, Radhouane, JABLAOUi, Cherif y RHAZI Larbi. Efficiency of Acacia Gummifera powder as biosorbent for simultaneous decontamination of water polluted with metals. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. 13(10):1-21, octubre 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535220303129> ISSN: 1878-5352
34. KHALIL, A.T, SHAH, M, MOKHTAR, N. y PUASA, S. Performance Evaluation of Emulsion Liquid Membrane for Simultaneous Copper and Cadmium Removal: Dispersion Tool Comparison. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 616(1):1, Diciembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85100026327&origin=inward> ISSN: 1755-1315
35. Ley N° 31187. Diario oficial el peruano, Lima, Perú, 4 de mayo de 2021.
36. LIM, Swee et al. Zinc removal and recovery from industrial wastewater with a microbial fuel cell: Experimental investigation and theoretical prediction. *Science of The Total Environment* [en línea]. 776:1-14, Julio 2021. [Fecha de consulta: 30 de Junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85101547552&origin=inward> ISSN: 0048-9697
37. LIMING, Yang et al. Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends. *Environment International* [en línea]. 152:11, Julio 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85102893258&origin=inward> ISSN: 0160-4120

38. LIMING, Yang et al. Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends. *Environment International* [en línea]. 152:1-11, julio 2021. [ Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021001379> ISSN: 0160-4120
39. Liu, Laisheng et al. Applying bio-slow sand filtration for water treatment. *Polish Journal of Environmental Studies* [en línea]. 28(4):8, enero 2019. [Fecha de consulta: 30 de junio 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/89544> ISSN: 1230-1485
40. LIU, Tong et al. Experimental study on the treatment of chromium containing wastewater by electric flocculation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 170(5):1-7, julio 2018. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/170/5/052012#references> ISSN: 1755-1307
41. Lozada, José. Investigación aplicada. *Revista de divulgación científica de la universidad tecnología Indoamérica* [en línea]. 3(1): 1, diciembre 2014. [ fecha de consulta 14 de junio del 2021] Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749> ISSN: 1390-9592
42. MANCILLA–VILLA, Oscar, ORTEGA–ESCOBAR, Héctor, RAMÍREZ–AYALA, Carlos, USCANGA–MORTERA, Ebandro, RAMOS–BELLO, Rosalía y REYES–ORTIGOZA, Amanda. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient* [en línea]. 28(1): 2-8, febrero 2012. [fecha de consulta: 19 de junio 2021]. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100004&lng=es&nrm=iso) ISSN: 0188-4999
43. MARZAN, Lolo, HOSSAIN, Mehjabeen, AKTER, Sohana, AKTER, Yasmin y AZAD Masudul. Isolation and biochemical characterization of heavy-metal resistant bacteria from tannery effluent in Chittagong city, Bangladesh: Bioremediation viewpoint. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* [en línea]. 43(1):1-8, marzo 2017. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2016.11.002> ISSN: 1687-4285
44. MAYACELA-ROJAS, Celia et al. Removal of transition metals from contaminated aquifers by prb technology: Performance comparison among reactive materials. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línea]. 18(11):21-22, Junio 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85107222226&origin=inward> ISSN: 1660-4601
45. MOHAMMAD, Noor y ATASSI, Yomen. Enhancement of removal efficiency of heavy metal ions by polyaniline deposition on electrospun polyacrylonitrile membranes. *Water Science and Engineering* [en línea]. 14(2):1-9, junio 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674237021000429> ISSN: 1674-2370
46. MOHAMMED, Kemal y SAHU, Omprakash. Recovery of chromium from tannery industry waste water by membrane separation technology: Health and engineering aspects. *Scientific African* [en línea]. 4:1-8, julio 2019. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227618300085> ISSN: 2468-2276

47. MOHD, Nurul, IDRIS, Juferi, MUSA, Mohibah, ANDOU, Yoshito, KU HAMID, Ku Halim y PUASA, Siti. Plant-based tacca leontopetaloides biopolymer flocculant (TBPF) produced high removal of heavy metal ions at low dosage. *MDPI* [en línea]. 9(1):1-13, enero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/pr9010037> ISSN: 2227-9717
48. MOHORA, Emilijan et al. Effects of combined fe-al electrodes and groundwater temperature on arsenic removal by electrocoagulation. *Environment Protection Engineering* [en línea]. 45(2):13, 2019. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85085573758&origin=inward> ISSN: 2450-260X
49. MONDAL, Prasenjit, YADAV, B. y SIDDIQUI, N. Removal of lead from drinking water by bioadsorption technique: An eco-friendly approach. *Nature Environment and Pollution Technology* [en línea]. 19(4):6-7, December 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.46488/nept.2020.v19i04.036> ISSN: 2395-3454
50. MORENO-RIVAS, Silvia y RAMOS-CLAMONT, Gabriela. Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *Esp.Cienc.Quím.Biol* [en línea]. 21(2):14, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155> ISSN: 1405-888X
51. MULLER, Daniel, STIRN, Charlotte y MAIER, Martin. Arsenic removal from highly contaminated groundwater by iron electrocoagulation-investigation of process parameters and iron dosage calculation. *Water* [online]. 13(5):1-8, marzo 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85102659740&origin=inward> ISSN: 2073-4441
52. MUN, N., SHUKOR, H, MOKHTAR, N, y SHOPARWE, N. Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Kappaphycus striatum*. *Environmental Science; Earth and Planetary Sciences* [en línea]. 765(1):9, mayo 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85107141493&origin=inward> ISSN: 1755-1315
53. NYSTRÖM, Fredrik, NORDQVIST, Kerstin, HERRMANN, Inga, HEDSTRÖM, Annelie y VIKLANDER, Maria. Removal of metals and hydrocarbons from stormwater using coagulation and flocculation. *Water Research* [en línea]. 182:1-10, setiembre 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420304565> ISSN: 0043-1354
54. ORELLANA, Diana y SANCHEZ M. Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de investigación educativa* [en línea]. 24(1):3, enero 2026. [fecha de consulta: 7 de junio del 2021]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10201/45434> ISSN: 0212-4068
55. PABÓN, S, BENÍTEZ, R, SARRIA-VILLA, R y GALLO, A. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea]. 14(27): 2; 13-15, enero-junio 2020. [fecha de consulta: 30 de junio 2021] Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672020000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009) ISSN: 2539-4169

56. PLA, Concepción, BENAVENTE, David, VALDÉS-ABELLAN, Javier y JODAR-ABELLAN, Antonio. Recovery of Polluted Urban Stormwater Containing Heavy Metals: Laboratory-Based Experiments with Arlita and Filtralite. *Water* [en línea]. 13(6):1-14, marzo 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/w13060780> ISSN: 2073-4441
57. POZO, Guillermo, HOUTVEN, Diane, FRANSAER, Jan y DOMINGUEZ-BENETTON, Xochitl. Arsenic immobilization as crystalline scorodite by gas-diffusion electrocrystallization. *Royal Society of Chemistry* [online]. 5(6):1-10, junio 2020. [Fecha de consulta: 30 de junio 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1039/D0RE00054J> ISSN: 2058-9883
58. RAHMAN, Md. Lutfor et al. Waste fiber-based poly (Hydroxamic acid) ligand for toxic metals removal from industrial wastewater. *Polymers* [en línea]. 13(9):19, May 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85106183442&origin=inward> ISSN: 2073-4360
59. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Laura, DÍAZ, Luis, QUINTANILLA-CARVAJAL, María, MENDOZA-CASTILLO, Didilia, BONILLA-PETRICIOLET, Adrián y JIMÉNEZ-JUNCA, Carlos. Preparation of a Hybrid Membrane from Whey Protein Fibrils and Activated Carbon to Remove Mercury and Chromium from Water. *MDPI* [en línea]. 10(12):1-17, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 8 del agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/membranes10120386> ISSN: 2077-0375
60. RODRÍGUEZ, Her et al. Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados. *Terra Latinoam* [en línea]. 35(4):6-7, diciembre 2017. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792017000400353&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000400353&lng=es&nrm=iso) ISSN: 2395-8030
61. RODRÍGUEZ, Ramon. Metodología para el análisis de información orientada al análisis de tendencias en el Web superficial a partir de fuentes no estructuradas. Parte I. Fundamentos teóricos. *Acimed* [en línea]. 14(6):6, diciembre 2006. [Fecha de consulta: 8 del agosto del 2021]. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352006000600005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352006000600005) ISSN: 1024-9435
62. SADJAD, Mohammadian et al. Field-scale demonstration of in situ immobilization of heavy metals by injecting iron oxide nanoparticle adsorption barriers in groundwater. *Journal of Contaminant Hydrology* [en línea]. 237:1-10, febrero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772220303302> ISSN: 0169-7722
63. SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnología y humanista [en línea]. 1.<sup>a</sup> ed. Lima: Universidad Ricardo palma., 2018 [fecha de consulta: 7 de junio del 2021]. Disponible en <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf> ISBN: 9786124735141
64. SASIDHARAN, V, SACHAN, Deepa, CHAUHAN, Divya, TALREJA, Neetu y ASHFAQ, Mohammad. Three-dimensional (3D) polymer—metal—carbon framework for efficient removal of chemical and biological contaminants. *Scientific Reports* [en línea]. 11(1):12, abril 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en

<http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85104088890&origin=inward> ISSN: 2045-2322

65. SHEKHAR, M. Chandra, M. ISLOOR, Arum, INAMUDDIN, Null, LAKSHMI B., MARWANI Hadi M., y KHAN Imran. Polyphenylsulfone/multiwalled carbon nanotubes mixed ultrafiltration membranes: Fabrication, characterization and removal of heavy metals Pb 2+ , Hg 2+ , and Cd 2+ from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. 13(3):1-10, marzo 2020. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187853521930127> ISSN: 1878-5352
66. SOTOMAYOR, Aristides y POWER, George. Tecnologías limpias y medio ambiente en el sector industrial peruano [en línea]. 1.ª ed. Lima: Fondo editorial Universidad de Lima., 2019 [fecha de consulta 19 de junio 2021]. Disponible en <https://es.scribd.com/book/431672838/Tecnologias-limpias-y-medio-ambiente-en-el-sector-industrial-peruano> ISBN: 978997255001
67. THAKARE, Mayur et al. Understanding the holistic approach to plant-microbe remediation technologies for removing heavy metals and radionuclides from soil. *Current Research in Biotechnology* [online]. 3:11, 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590262821000095> ISSN: 2590-2628
68. TOMNO, Rose, NZEVE, Julius, MAILU, Stephen, SHITANDA, Douglas, y WASWA, Fuchaka. Heavy metal contamination of water, soil and vegetables in urban streams in Machakos municipality, Kenya. *Scientific African* [en línea]. 9:2, setiembre 2020. [Fecha de consulta: 4 de junio del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00539> ISSN: 2468-2276
69. VERMA, Bharti, BALOMAJUMDER, Chandrajit, SABAPATHY, Manigandan y GUMFEKAR Sarang. Pressure-driven membrane process: A review of advanced technique for heavy metals remediation. *MDPI* [en línea]. 9(5): mayo 2021. [ Fecha de consulta 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/pr9050752> ISSN: 2227-9717
70. VILCHES, Amparo y GILI-PEREZ Daniel. The Role of Demography in the Transition to Sustainable Societies. *Ciência & Educação (Bauru)*. [en línea]. 26:4, octubre 2020. [Fecha de consulta: 4 de junio del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1590/1516-731320200016> ISSN: 1516-7313
71. WEI, Wei, XU, Yiqi, HUANG, Jian y ZHU, Jia. Review of the application of metal-air battery principle in water treatment. *E3S Web of Conferences* [en línea]. 136:5, diciembre 2019. [Fecha de consulta: 30 de junio 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85076793505&origin=inward> ISSN: 2267-1242
72. WOŁOWICZ, Anna Y WAWRZKIEWICZ, Monika. Screening of ion exchange resins for hazardous Ni (II) removal from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium batch adsorption method. *MDPI* [en línea]. 9(2):1-20, febrero 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/pr9020285> ISSN: 2227-9717
73. XIA, Chunhua, ZHANG, Xueying y XIA, Linghui. Heavy metal ion adsorption by permeable oyster shell bricks. *Construction and Building Materials* [en línea]. 13(6):1-7, marzo 2021. [Fecha de consulta: 8 de agosto del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122128> ISSN: 0950-0618

74. XIULING, Li. Preparation of Graphene Oxide-Molecular Sieve Composite Adsorbent and its Adsorption Performance for Heavy Metals in Water. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 784(1):1-7, June 2021. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85108015991&origin=inward> ISSN: 1755-1315
75. YEHA, El-Taweel, EHSSAN, Nassef, IMAN, Elkheriany y DOAA, Sayed. Removal of Cr (VI) ions from waste water by electrocoagulation using iron electrode. *Egyptian Journal of Petroleum* [en línea]. 24(2):9, junio 2015. [Fecha de consulta: 30 de junio del 2021]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062115000355> ISSN: 1110-0621
76. ZAKIR, H, SHARMIN, Shaila, AKTER, Arifa, y RAHMAN, Md. Assessment of health risk of heavy metals and water quality indices for irrigation and drinking suitability of waters: a case study of Jamalpur Sadar area, Bangladesh. *Environmental Advances* [en línea]. 2:1-13, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100005> ISSN: 2666-7657



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MILTON CÉSAR TÚLLUME CHAVESTA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC – LIMA ESTE, asesor del Trabajo de Investigación / Tesis titulada: "REVISIÓN SISTEMÁTICA: TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS PARA SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO SOCIAL, 2021", del autor FRANKLIN JOHE TOLEDO TOLEDO, constato que la investigación cumple con el índice de similitud de 6% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación / Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

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

Lima, 19 de setiembre de 2021

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
TÚLLUME CHAVESTA, MILTON CÉSAR  DNI: 07482588  ORCID: 0000-0002-0432-2459	