



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido
de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y
mercurio**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Chavarria Campomanes, Carlos (ORCID: 0000-0002-9952-5485)

Payajo Caldas, Lizeth Fiorella (ORCID: 0000-0003-2053-1311)

ASESOR:

Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-8683-5054)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA — PERÚ

2021

Dedicatoria

Este trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a mis padres Celestino Payajo Sifuentes y Alejandrina Caldas Joaquín por todo su apoyo que me brindan todos los días, por el esfuerzo y palabras de aliento las cuales me impulsaron para seguir adelante y alcanzar mis metas. A mis hermanos, por sus consejos y apoyo incondicional.

Lizeth Fiorella Payajo Caldas

Este trabajo de investigación dedico a mis padres y hermanas que son muestra de mi mayor motivación para seguir estudiando y lograr mis objetivos con perseverancia a pesar de las dificultades que se presenta en la vida.

Carlos Chavarria Campomanes

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por permitirnos cumplir con excelencia el desarrollo de nuestra tesis, gracias a la universidad por permitirnos convertir en grandes profesionales, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este grupo de graduados, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo logramos.

Índice de contenido

Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	11
3.2 Variables y operacionalización	11
3.3 Población muestra y muestreo	12
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5 Procedimiento	13
3.6 Análisis de datos	16
3.7 Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	37
VII. RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS	39
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
Tabla 2. Validación de instrumentos.....	13
Tabla 3. Estrategias de búsqueda.....	15
Tabla 4. Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro.....	19
Tabla 5. Condiciones operacionales de aplicación del proceso de adsorción de los metales.....	20
Tabla 6. Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.....	21
Tabla 7. Porcentaje de adsorción de los metales de plomo y mercurio.....	22
Tabla 8. Datos de uso de nanopartículas de óxido de hierro para la adsorción de plomo y mercurio.....	23

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de investigaciones para el análisis estadístico descriptivo	17
Figura 2. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para la adsorción de metales	25
Figura 3. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.	26
Figura 4. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.	27
Figura 5. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.	28
Figura 6. Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro	29
Figura 7. Condiciones operacionales	30
Figura 8. Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.....	31
Figura 9. Porcentaje de adsorción de los metales.....	32

Resumen

La contaminación del agua es un problema a nivel mundial, cuya causa principal son los metales pesados como el plomo y el mercurio. Actualmente, se ha presentado un gran avance en el uso de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar mediante revisión sistemática la eficiencia del uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio. La investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Para el desarrollo de la investigación se realizó una búsqueda de información en las bases de datos principales, como Scopus y Web of Science, en el periodo comprendido entre enero de 2012 hasta septiembre de 2021. Los resultados mostraron que las nanopartículas de óxido de hierro tienen una eficiencia entre 81 % a 99.9 % en la adsorción de metales pesados. Finalmente, se concluye que el uso de nanopartículas de óxido de hierro es eficiente para la adsorción de metales y es viable para el tratamiento de aguas contaminadas.

Palabras clave: revisión sistemática, nanopartículas de óxido de hierro, plomo, mercurio, aguas contaminadas.

Abstract

Water pollution is a worldwide problem, mainly caused by heavy metals such as lead and mercury. Currently there has been great progress in the use of new technologies for the treatment of contaminated water. The objective of this research was to evaluate through a systematic review the efficiency of the use of iron oxide nanoparticles in the treatment of water contaminated with lead and mercury. The research was applied with a quantitative approach and non-experimental design. For the development of the research, a search for information was carried out in the main databases such as Scopus and Web of Science, in the period from January 2012 to September 2021. The results showed that iron oxide nanoparticles have an efficiency between 81 % to 99.9 % in the adsorption of heavy metals. Finally, it is concluded that the use of iron oxide nanoparticles is efficient for the adsorption of metals and is viable for the treatment of contaminated water.

Keywords: systematic review, iron oxide nanoparticles, lead, mercury, contaminated water

I. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología se aplica en la solución o el mejoramiento de problemas relacionados con la calidad del agua o suelos contaminados, utilizándose como una alternativa de solución para la eliminación de contaminantes como metales pesados, virus, bacterias, plaguicidas, etc. (Starbird et al., 2015). Las nanopartículas son de gran interés en la investigación científica, debido a que sus propiedades a escala nanométrica son distintas a los materiales macroscópicos (Tombácz, 2015). Además, su uso está en constante expansión y tiene un rol fundamental en diversas áreas de investigación, tales como la electrónica, los sensores, la medicina, el control de la contaminación y la tecnología ambiental (Ziyad et al., 2018).

Las propiedades dependen únicamente de sus características físicas, químicas o morfológicas (Bollhorst et al., 2017). Así, el uso de nanopartículas ha tenido un crecimiento considerable en el campo de la investigación científica y la nanociencia, gracias a sus grandes propiedades físico-químicas, las cuales se obtienen según el tamaño de cada partícula, específicamente en las aplicaciones destinadas en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, lo que permite descontaminarlas para que los seres humanos puedan utilizarla posteriormente (Montero y Campos, 2015).

Actualmente, el incremento acelerado de la población se traduce en una mayor demanda de recursos indispensables, como el agua, el aire, el suelo, etc.; lo que impulsa al desarrollo de medidas urgentes, así como a la utilización de las nuevas tecnologías con el propósito de conservar y recuperar los afluentes, y poder darles un uso sustentable y sostenible (Méndez et al., 2020).

Durante los últimos años se han venido desarrollando diversas metodologías para sintetizar estas nanopartículas de hierro, debido a las distintas aplicaciones, en el tratamiento de aguas, la nanomedicina y entre otros. El hierro es uno de los metales con mayor abundancia y amigable con el medio ambiente, y también una de las mayores fuentes para obtener materiales ferromagnéticos. Este metal es muy sensible a procesos de oxidación, comprobándose que nanopartículas de hierro menores a 8 nm se oxidan totalmente en presencia de oxígeno y agua (Wu y Kim, 2015).

Esto desemboca en uno de los grandes problemas en el medio ambiente, que es la contaminación del agua por diferentes causas, entre las más comunes están los metales pesados. En busca de solucionar esta problemática se han empleado diversos métodos y tecnologías de tratamiento en el campo de la ciencia, con el propósito de reducir y eliminar los altos niveles de concentración de metales pesados en el agua, principalmente, técnicas de intercambio iónico, precipitación y adsorción. Este último es el más eficaz, dado que en su aplicación se obtienen mejores resultados para la eliminación de metales presentes en el agua, lo cual se atribuye a la elevada relación entre el área y el volumen que presenta (Abdolhossein, 2021).

Los metales pesados existen de forma natural en el medio ambiente, pero gracias a las actividades humanas y algunas actividades naturales se han introducido en los cuerpos de agua, por lo que se han convertido en uno de los problemas principales a nivel mundial. Precisamente por esta naturaleza peligrosa los seres vivos están en riesgo, pues han estado expuestos a estos metales por diversas fuentes, en particular el agua para el consumo humano, que es una fuente importante (Rehman et al., 2021). Las nanopartículas de óxido de hierro han cobrado gran relevancia, porque, con el paso de los años, se ha determinado que son muy eficientes para la adsorción de metales contaminantes del agua, incluyendo el geófito, hematita, óxido de hierro y óxidos amorfos hidratados de Fe, así como también la magnetita (Deliyanni et al., 2015)

Distintos estudios han evidenciado que los instrumentos y los materiales empleados que pertenecen a las tecnologías en esta rama tienen un gran potencial en el tratamiento de aguas contaminadas por metales, entre las que se menciona la aplicación de membranas, la adsorción, la oxidación, etc. La remediación de aguas contaminadas con metales pesados es un proceso desafiante porque estos no pueden ser degradados por microorganismos, a lo que se suma la efectividad, generalmente limitada de las tecnologías aplicadas en la actualidad; por consiguiente, las nuevas tecnologías de remediación son necesarias.

En consideración de esto se desarrolló un nuevo tratamiento, en el que se establecen barreras de adsorción mediante la inyección de óxido de hierro

(Mohammadian, 2021). Una de las tecnologías modernas más aplicables es la del uso de síntesis de hierro, que se aplica con el fin de separar los metales de las aguas para purificarlas. Otro factor relevante en el uso de esta tecnología que está relacionado con el costo de las materias primas de estos nanomateriales, puesto que están disminuyendo, de modo que se vuelven competitivos para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados (Méndez et al., 2020).

Las nanopartículas de óxido de hierro están expuestas a procesos de oxidación apenas entran en contacto con el aire, ya sea durante la síntesis o al ser agregadas a un sistema acuoso (Kadokia, 2008), lo que provoca que pierdan su propiedad magnética. El control de la magnitud y la polidispersidad es muy importante, debido a que las características de los nanocristales dependen fundamentalmente de la dimensión de las nanopartículas, donde solo las partículas de magnetita menores de 30 nanómetros presentan propiedades superparamagnéticas que se encuentran expuestas a campos magnéticos (Gonzales et al., 2013).

Una vez explicada la problemática, a partir de la revisión sistemática se formula como problema general: ¿cuán eficiente es el uso de nanopartículas de óxidos de hierro para el tratamiento de agua contaminada con plomo y mercurio?, y como problemas específicos se plantean: ¿cuáles son las características físico-químicas de las aguas contaminadas y del óxido de hierro? ¿Cuáles son las condiciones operacionales del óxido de hierro para la adsorción de metales en aguas contaminadas? y ¿cuáles son los porcentajes de adsorción de los metales utilizando nanopartículas de óxido de hierro en aguas contaminadas?

La justificación de esta investigación se proyecta en torno a la recopilación de estudios realizados en el aspecto ambiental. Sin duda, la aplicación de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas es una gran alternativa de descontaminación, gracias a su alta capacidad de adsorción, lo que mejora las propiedades fisicoquímicas del agua. En el ámbito económico, la producción de óxido de hierro es de bajo costo porque este producto se obtiene de los compuestos químicos formados por el hierro y el

oxígeno. En el aspecto social, se busca involucrar a la sociedad en general en el uso de nanopartículas de óxido de hierro para sus diferentes aplicaciones.

La aplicación de las nanopartículas de óxido y hierro en el tratamiento de aguas contaminadas es una gran alternativa, además de constituir un campo lleno de grandes posibilidades para reducir la contaminación de aguas por metales como el plomo y el mercurio, dado que presenta una alta capacidad de adsorción para remover los metales pesados presentes en el agua (Ruiz, 2018). Cabe señalar que hay una amplia cantidad de estudios realizados acerca de este tema, cuyos resultados se sintetizan a través de la revisión sistemática y análisis estadístico descriptivo y así brindar un nuevo aporte para futuras investigaciones que se interesen en abordar esta problemática.

Para esta síntesis se plantea como objetivo general: evaluar la eficiencia del uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio y como objetivos específicos: determinar las características físico-químicos del óxido de hierro, determinar en qué condiciones operacionales el óxido de hierro es más eficiente para la adsorción del plomo y mercurio, identificar el porcentaje de adsorción de los metales plomo y mercurio de las aguas contaminadas y determinar las características físico-químicos de las aguas contaminadas.

Finalmente, se formuló como hipótesis: el uso de nanopartículas de óxido de hierro es eficiente para la adsorción de metales en aguas contaminadas.

II. MARCO TEÓRICO

Las nanopartículas de óxido de hierro se han utilizado ampliamente en las investigaciones como agentes adsorbentes de los metales del agua (Rodríguez et al., 2022). En los últimos años, el interés se ha enfocado mucho más en el campo de la remediación debido a que presentan mejores vectores de barrera y más solubles o específicas a un blanco determinado (Díaz et al., 2022). La contaminación del agua por metales pesados ha ido creciendo en los últimos años y ha captado la atención de muchos investigadores que buscan más información sobre el uso de nanopartícula en el tratamiento de aguas contaminadas. Además, extraer o eliminar los metales y separarlos del agua no es un proceso sencillo. Por ese motivo, se han investigado el uso del material de nanopartícula de óxido de hierro que son capaces de adsorber y eliminar los metales del agua (Matéu et al., 2014). Es por ello, las nanopartículas se han convertido en uno de los objetivos principales de la ciencia e ingeniería, dentro de estas han atraído el interés durante las últimas décadas debido a sus propiedades adsorbentes, en donde, existe una variedad de métodos para llevar a cabo la aplicación en las aguas contaminadas por metales pesado (Robles et al., 2018).

Las nanopartículas son objetos pequeños que se clasifican según su tamaño y diámetro (Kestell, 2011); presentan tamaños microscópicos que pueden variar de 1 a 100 nanómetros, y pueden exhibir o no las características en relación con el tamaño, las cuales difieren significativamente de las observadas en partículas diminutas o materiales a granel (Delorey, 2011). En comparación, una partícula es más pequeña que un grano de arena o uno de sal. Se debe señalar que el uso principal de nanopartículas tiene que ver con innovar y desarrollar en la solución de la problemática ambiental, también en la medicina y distintas áreas ambientales.

De acuerdo con Muhammad (Nisar, 2020), la escala nanométrica va desde 1 a 100 nanómetros, y las nanopartículas poseen dimensiones manométricas. El término “antimateria” se aplica a materiales cuya fabricación o dimensiones son controladas a nivel manométrica (Miguel y Median, 2015).

Las nanopartículas han surgido como una herramienta importante para la ciencia, especialmente en el campo de la medicina (Pande et al., 2016). Además, presentan una notable variedad de familias, composiciones, estructuras y funciones (Raz, 2015). Por ello es importante conocer esta tecnología de nanopartículas, que no solo es interesante, además es el futuro en muchas investigaciones que conducirán a grandes avances en el campo de la investigación, en donde los investigadores han aprovechado las posibilidades que brindan las nanopartículas y la nanotecnología para avanzar en sus investigaciones cuyos resultados pueden ser muy beneficiosos para la economía y la sociedad.

Entre las propiedades físicas de las nanopartículas tenemos es el punto de fusión que disminuye como consecuencia de su gran área superficial específica y el mayor número de átomos en la superficie; esto afecta el comportamiento termodinámico del volumen de la nanopartícula (Medina, 2015). Las propiedades químicas que presentan las nanopartículas son los catalizadores, como consecuencia de la gran actividad química en su superficie; al cambiar su forma en donde se incrementa el número de bordes y esquinas, se incrementa su solubilidad y tiene una mayor capacidad de adsorción (Galván, 2015).

Nanopartículas metálicas: las propiedades físicas y las aplicaciones de las nanopartículas metálicas derivan, en gran parte, de sus electrones superficiales que son relativamente libres y dotan de características ópticas y electrónicas (Gonzales et al., 2011). Estas muestran propiedades interesantes que son muy diferentes de los átomos superficiales o a los materiales a gránulos individuales. Asimismo, son un foco de interés para la ciencia fundamental y, a causa de su enorme potencial en nanotecnología, son objeto de un esfuerzo considerable de investigación en una variedad de disciplinas (Blackman et al., 2009).

Las nanopartículas metálicas pueden obtenerse principalmente por dos métodos: método físico, consiste en la subdivisión mecánica del metal y el método químico, consiste en la nucleación y el crecimiento de las partículas a partir de los átomos metálicos (Santana et al., 2018).

Las nanopartículas y el medio ambiente: Actualmente, la aplicación de las nanopartículas es de vital importancia en el ciclo de vida y medio ambiente, haciéndose necesarios en los estudios de los impactos de la contaminación del agua y del suelo (Mendoza et al., 2018). El desarrollo de la nanotecnología en el medio ambiente ha abierto muchas oportunidades para la investigación, sabiendo que los grandes retos de la humanidad son tener productos amigables con el medio ambiente. Sin embargo, en la actualidad la sociedad sigue contaminando el medio ambiente poniendo en riesgo a los diferentes ecosistemas, generalmente al agua que es un recurso muy importante en el medio para la sociedad (Vázquez, 2015). Existe la necesidad de reducir y remediar los daños causados con la contaminación y restaurar el agua contaminada, es por ello, en esta importante tarea las nanopartículas dan una solución de remediar en el medio ambiente.

Óxido de hierro: son los óxidos metálicos más comunes y abundantes en el medio, es un cristal negro o polvo marrón rojizo. Se trata de un compuesto químico que está conformado por hierro y oxígeno; se llegó a formar hace millones de años a raíz de los grandes cambios originados por los movimientos que ha sufrido la tierra. Los compuestos de óxido de hierro constituyen un componente importante, incluso varios estudios previos han demostrado que estos elementos son fuentes adsorbentes (Monteza, 2011).

Químicamente el óxido de hierro consiste únicamente de simples compuestos en la forma de Fe, O e H. El hierro es una estructura octaédrica en el cual seis átomos de oxígeno y/ o grupos oxidrilos se forman en paquetes compactos hexagonales o cúbicos, con pequeños intersticios entre ellos (Ortiz, 2012).

Contaminación del agua: cuando las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua cambian, esta se contamina y, por ende, pierde su potabilidad para el consumo humano o para actividades domésticas, agrícolas o industriales (Rodríguez et al., 2006). En Perú se cuenta con las más grandes reservas de recursos hídricos de América Latina y se posiciona dentro de los 20 países con la mayor eficiencia en el uso del agua a nivel mundial. El 65 % de la población peruana, que representa la región costera, tiene acceso a solo el 1,7

% del agua en el país, mientras que en la cuenca del Amazonas el 97,7 y el 30 % de la población puede utilizarla. Sin lugar a dudas, el agua es un elemento fundamental en la vida del ser humano y las especies, pero si está contaminada influye de manera negativa al bienestar colectivo y perjudica la salud, donde se ven las consecuencias principales (Benites et al., 2022)

El agua es un recurso muy importante y valorado a nivel mundial y por eso se requiere evitar su contaminación excesivo. Existen muchos tipos de contaminación del agua en el medio ambiente, los cuales se pueden clasificar según su origen o tipos de contaminantes, el tipo de contaminación de origen artificial que se aborda en esta investigación es una contaminación por metales pesados de plomo y mercurio (Fuentes et al., 2021). Los metales pesados son un grupo de elementos de la tabla periódica que comparten una serie de características en común, siendo estos metales muy peligrosos por su alta toxicidad en el agua y perjudiciales para la sociedad (Silva et al., 2022).

Las principales causas de la contaminación del agua en el medio ambiente son, el vertido de metales de las zonas mineras, vertido de contaminantes de las industrias y derrame de combustible. Las consecuencias son el efecto devastador para el agua y la salud. Algunas de las consecuencias más importantes de estos contaminantes es la destrucción de la biodiversidad, la contaminación de la cadena alimentaria que supone la transmisión toxica a los alimentos que causa daño a la salud del ser vivo (Odilón eta al., 2021).

Tratamiento de aguas contaminadas: es un proceso de purificación del agua por medio del uso de tecnologías y procedimientos apropiados, los cuales eliminan sus contaminantes y la optimizan para las necesidades humanas. El tratamiento del agua consiste en una serie de pasos para disminuir los contaminantes presentes en las aguas residuales, ya sean domésticas o industriales, para su posterior reutilización. Por lo general, esto incluye varias etapas: etapa inicial se eliminan los sólidos grandes, aceites, grasas, partículas (mediante filtración), tratamiento de lodos y uso de membranas, etapa posterior se hace lo propio con las bacterias aeróbicas que pueden eliminar los desechos biológicos y se utilizan para descomponer los contaminantes (Rodríguez et al., 2017).

Los sistemas de producción industrial actuales usan metales pesados para la extracción de materiales o como elemento en la refinación de un producto en particular, sin embargo, al usar estos metales presenta un grave problema en medio ambiente debido a su alta toxicidad que contamina el agua. Por tanto, se han empleado diversos métodos para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados una vez están en el cuerpo del agua (Benítez, 2018).

Adsorción es una adhesión de átomos, iones o moléculas de un líquido o sólido disuelto en una sustancia. Permite la captación activa o pasiva de iones metálicas, debido a su propiedad de biomasa vivas o muertas poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminación con metales pesados (Garcés, 2015). Entre los metales de mayor impacto al medio ambiente por su alta toxicidad y difícil de eliminar se encuentra el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio.

Plomo: presenta un color azulado y forma una variedad de sales, óxidos y otros compuestos. El plomo tiene efectos nocivos bastante conocidos en el ser humano: como las que presenta a nivel neurológico, renal, cardiovascular, sistema reproductor, etc. Todos los países o regiones del mundo establecen la concentración más alta aceptable de agua potable en un nivel bastante bajo ($\leq 50 \mu\text{g/L}$) (Tiwari et al., 2008). Este metal es muy conocido por ser muy pesado; además, se ha empleado desde tiempos remotos, debido a su enorme capacidad de resistir a la corrosión, aunque también se menciona que tiene ductilidad fácil a formación de aleaciones. Asimismo, puede ser absorbido de varias formas, ya sea por inhalación, a través de órganos como la piel, o al ser ingerido directamente (Méndez y Armenta, 2011).

Mercurio: presenta una consistencia líquida. Este metal forma una solución y amalgamas con otros metales (plata, uranio, potasio, oro, plomo, sodio y cobre) que suelen encontrarse como sulfuros, rojo cinabrio y en cantidades más pequeñas de cinabrio ferroso. Presenta forma líquida al entrar en contacto con la temperatura y puede hallarse como derivados inorgánicos y orgánicos. El mercurio tiene poca solubilidad, por lo que no es muy tóxico cuando se ingiere, pero libera vapores dañinos en cualquier estado o temperatura, y provoca

intoxicación aguda y crónica por inhalación (Sarmiento et al., 1999; Bayona, 2009).

Revisión sistemática: son resúmenes claros, precisos y estructurados de toda la información disponible que se pueda recopilar y sintetizar acerca de un tema o pregunta, así que pueden estar constituidos por diversos artículos en los que se puede aceptar o rechazar una hipótesis. Por todo ello representan el máximo grado de prueba en la jerarquía. La revisión finaliza cuando se concluye que la cantidad de artículos revisados cumplieron con los objetivos planteados y, por consiguiente, se puede plantear una solución aceptable, mediante la comparación de resultados con otros autores (Sánchez, 2010).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada. Según Domínguez (2015), este enfoque se aplica a la recopilación de datos obtenidos, pues es probatorio y secuencial, dado que engloba un grupo de procesos de investigación, y generalmente se utiliza porque los resultados se presentan de manera inmediata. Por su parte, Silva (2012) sostuvo que el objetivo de una investigación aplicada es práctica o empírica, puesto que se busca dar respuesta a los problemas; además, se caracteriza por la búsqueda de la aplicación o uso del conocimiento adquirido. También es un procedimiento que se lleva a cabo mediante encuestas, entrevistas o cuestionarios, con el propósito de establecer las necesidades y solucionar problemáticas que hacen parte de la realidad social.

El diseño del estudio fue no experimental de revisión documental. Para Hernández et al. (2012), este tipo de investigación tiene lugar cuando no se manipulan las variables deliberadamente, es decir, no debe existir una amplia variación de las variables independientes, por el contrario, se busca observar y analizar que los fenómenos se den en su estado natural para luego poder estudiarlos adecuadamente.

3.2 Variables y operacionalización

En la presente investigación de revisión sistemática se trabajó con las siguientes variables independiente y dependiente.

Variable independiente

- Uso de nanopartículas de óxido de hierro.

Dimensiones

- ✓ Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro.
- ✓ Condiciones operacionales.

Variable dependiente

- Tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.

Dimensiones

- ✓ Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.
- ✓ Porcentaje de adsorción de plomo y mercurio.

La matriz de operacionalización de variables se muestra en el Anexo 1.

3.3 Población muestra y muestreo

Se consideró como población a 412 investigaciones que abordaron el uso de nanopartículas de óxidos de hierro. De acuerdo con Ventura (2017), la población es un grupo, en su mayoría limitado y definido, que puede contener objetos y ciertas características similares que se espera conocer.

La muestra para la presente investigación fue de 20 estudios, los cuales cumplieron con los criterios de inclusión establecidos para la presente investigación y la unidad de análisis fue el conglomerado de estudios científicos, los cuales contenían información acerca del uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.

En esta investigación, el tipo de muestreo fue aleatorio, porque fue una revisión profunda que permitió observar con claridad los estudios seleccionados a través de procedimientos estadísticos (valoración del tamaño del efecto y el control sesgo de publicación) (Silva, 2012). La función básica del muestreo es delimitar que parte de una población debe analizarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica designada corresponde a una revisión documental, puesto que es un procedimiento de recolección y síntesis de evidencia científica, la cual permitió responder de forma objetiva al interrogante planteado como problema general. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis descriptivo, con el objetivo de analizar estadísticamente los datos obtenidos de la revisión sistemática para aceptar o rechazar la hipótesis formulada.

Para la recopilación de datos se elaboraron fichas de registro. A continuación, en la Tabla 1 se presenta las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos
Análisis documental	Ficha 1: características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro.
	Ficha 2: condiciones operacionales de aplicación del proceso de adsorción de metales.
	Ficha 3: características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.
	Ficha 4: porcentaje de adsorción de los metales.

3.4.3 Validez y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos fueron revisados por tres expertos en temas de la línea de investigación a la que está adscrito el presente estudio, tal como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Validación de instrumentos

Experto	CIP	Porcentaje de validación
Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto	130267	90 %
Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio	89972	90 %
Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio	89972	90 %
Promedio (%)		90 %

3.5 Procedimiento

Para el proyecto se siguieron los pasos de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic), el cual contribuyó a una mejora en la calidad, la claridad y la transparencia de la publicación de la revista sistemática.

3.5.1 Criterios de inclusión y exclusión

La revisión sistemática tuvo en cuenta los estudios longitudinales observacionales con información del uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.

En los criterios de inclusión se consideraron las investigaciones que abordaron la aplicación y la eficiencia del óxido de hierro en la adsorción de metales presentes en aguas contaminadas. Estos estudios también incluyeron la aplicación de óxido de hierro con otros tipos de adsorbentes y distintas metodologías.

Los artículos se buscaron en base de datos confiables como Scopus y Web of Science, y se escogieron los estudios publicados en inglés y español, por lo que fue necesario utilizar diversas herramientas de traducción virtual para comprender su contenido. Con respecto a la fecha de publicación de las investigaciones, se procuró que estas no superaran los 10 años de antigüedad. En cuanto a los criterios de exclusión se dejaron por fuera los artículos que no se publicaron en el rango de años establecidos, así como aquellos que guardaban poca relación con el tema o estaban escritas en otros idiomas.

3.5.2 Fuentes de información

Para el desarrollo de este trabajo se seleccionaron diversas fuentes de información como la base de datos Scopus y Web of Science, todas ellas se buscaron a través de la plataforma de la Universidad César Vallejo. En este proceso se tuvieron presentes los criterios de selección de los artículos científicos de interés relacionados con el tema, y se consideraron documentos como artículos y revisiones publicados durante los últimos 10 años. Una vez que estos se obtuvieron se revisaron las partes importantes de cada artículo, se citó debidamente a cada autor con su fecha de publicación, y de esta manera se comenzó la selección de estudios, teniendo en cuenta los títulos y resúmenes de los artículos recuperados.

3.5.3 Estrategias de búsqueda

Para aplicar una estrategia de búsqueda se recurrió a los artículos científicos y a los documentos de referencia sobre cómo realizar una revisión sistemática, con el objetivo de lograr una búsqueda de información beneficiosa y productiva. Asimismo, las palabras claves y los criterios de inclusión se establecieron como límites. En la Tabla 3 se muestran los resultados de las estrategias de búsqueda.

Tabla 3. Estrategias de búsqueda

Base de datos	Cadena de búsqueda	Cantidad de artículos
Scopus	"Treatment and water and (nanoparticles AND iron AND (lead OR mercury))"	254
Web of Science	"Treatment and water and (nanoparticles AND iron AND (lead OR mercury))"	185

3.5.4 Identificación de documentos relevantes

La identificación de los documentos se realizó con base en los resultados de la búsqueda de los artículos, por lo que se tomaron en cuenta las palabras clave en los títulos y los resúmenes. El siguiente paso fue revisar exhaustivamente los estudios seleccionados, con la finalidad de realizar un análisis y así obtener la fiabilidad de los datos de cada estudio. Por último, las investigaciones que fueron relevantes para cumplir con los objetivos planteados se descargaron, y solo se seleccionaron los estudios que contenían datos relacionados con la presente investigación para el análisis descriptivo.

3.5.5 Evaluación de la calidad

Para evaluar la calidad de la metodología aplicada se utilizó una lista de verificación llamada Newcastle-Ottawa. (2019), la calidad del estudio se mide en función de tres categorías, a saber: selección (analiza que la muestra sea representativa a la población de interés), comparabilidad (estudia la lista de comparabilidad de un conjunto de expuestos y no expuestos) y resultado (se analiza la cuantificación del resultado).

3.5.6 Descripción de los estudios

En cada documento se identificaron los autores y el país donde hicieron la investigación. De igual modo, se describieron las metodologías que se siguieron como procedimientos, según corresponda a sus características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro (tamaño de partícula, densidad, punto de fusión y capacidad de adsorción), las condiciones operacionales (dosis, pH, temperatura y tiempo), las características fisicoquímicas de las aguas contaminadas (procedencia de la muestra, pH y

temperatura), así como el porcentaje de adsorción de plomo y mercurio (concentración de plomo y mercurio).

Los datos de los estudios seleccionados se sintetizaron en tablas, en las cuales se consignó la siguiente información:

- ✓ Características de los estudios que se seleccionaron en la revisión sistemática.
- ✓ Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro.
- ✓ Condiciones operacionales de las aguas contaminadas.
- ✓ Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.
- ✓ Porcentaje de adsorción de plomo y mercurio.

3.6 Análisis de datos

En este trabajo de investigación se empleó un análisis estadístico descriptivo, con datos de tamaño de nanopartículas de óxido de hierro con respecto al proceso de adsorción de los metales y la influencia de tamaño de nanopartículas en función a la concentración de metales de plomo y mercurio en el agua, y que los resultados estadísticos muestren valores favorables en dicha evaluación. Las conclusiones se realizaron a través de las estimaciones numéricas, y la comparación de las hipótesis con estadística.

3.7 Aspectos éticos

En la elaboración de la presente investigación se respetó la propiedad intelectual de todos los autores mencionados y citando correctamente. Asimismo, el documento fue sometido al programa de reporte de originalidad Turnitin. Se respetó la línea y guía de producto de investigación 2020, código de ética y el reglamento de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

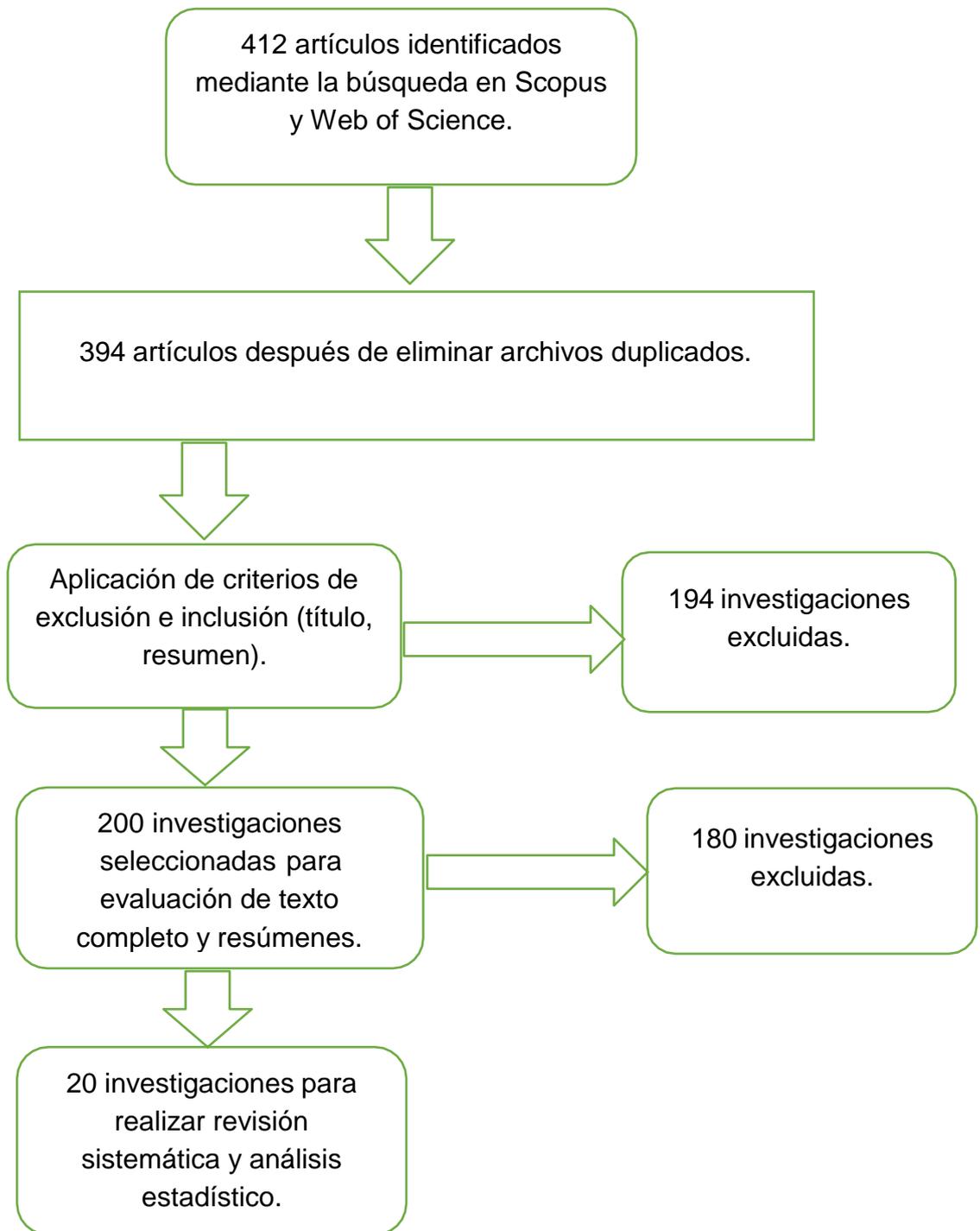


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de investigaciones para el análisis estadístico descriptivo.

En el diagrama de la Figura 1 se resumió la búsqueda de los estudios más importantes, donde se indicó la cantidad de investigaciones excluidas según el título y el resumen. Como se pudo ver, todos los trabajos encontrados en las bases de datos Scopus y Web of Science, solo 20 cumplieron con los criterios de inclusión establecidos.

Acerca de la descripción de cada fase del proceso de obtención de investigaciones para el análisis descriptivo, todos los documentos más relevantes fueron resultado de la búsqueda de las bases de datos confiables (Scopus y Web of Science). Esto se realizó aplicando estrategias de búsqueda, lo que arrojó un total de 412 investigaciones.

Estos documentos fueron evaluados mediante criterios de exclusión, utilizando el programa Excel, donde se aplicaron filtros en los títulos y los resúmenes; además, se usaron comandos de validación de datos para detectar los trabajos repetidos en las bases de datos utilizadas. Sobre los documentos restantes, se excluyeron 194 investigaciones, las cuales fueron retiradas de la base de datos acumulada en el excel.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro

Ficha 01 - Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro					
N°	Tamaño de nanopartícula (nm)	Densidad (g/cm³)	Punto de fusión (°C)	Capacidad de adsorción (%)	Autores
1	-	-	-	82	Ali et al. (2017)
2	-	-	-	95.9	Chen et al. (2020)
3	18	-	750	96.8	Fort et al. (2020)
4	6	-	-	87	Greenstein et al, (2019)
5	6	47.8	-	95.7	Li Z et al. (2018)
6	2	-	-	90	Chenliu et al. (2020)
7	0.05	-	-	99	Maleki et al. (2019)
8	6	-	480	99	Mishra et al. (2020)
9	20	-	-	98	Pranudta et al. (2021)
10	-	-	-	81	Sharifan et al. (2020)
11	0.45	-	-	88	Siciliano et al. (2018)
12	-	-	-	98	Van Koetsem et al. (2016)
13	7.96	-	-	90	Vázquez et al. (2021)
14	5	28	-	99.63	Wang et al. (2020)
15	283.3	-	198	99.7	Mak et al. (2017)
16	29.95	-	-	98	Lakkaboyana et al. (2021)
17	30	-	-	99.5	Rahimi et al. (2015)
18	24	71.2	1300	99	Wei et al. (2017)
19	-	-	-	90.3	Zhao et al. (2019)
20	0.25	0.03	-	98.2	Xiaowan et al. (2019)

En la Tabla 4 se observó las características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro. En 7 investigaciones se encontró que la presencia de metales pesados llega a adsorberse en un 99 %. Es importante resaltar que en solo dos estudios el proceso de adsorción fue debajo del 90 %, encontrándose entre 81 a 90 %. Por otro lado, los 20 estudios seleccionados tuvieron una temperatura de fusión mínima de 198°C y una máxima de 1300°C, lo cual es importante para el estudio de adsorción de metales presentes en el agua.

Tabla 5. Condiciones operacionales de aplicación del proceso de adsorción de los metales

Ficha 02 - Condiciones operacionales de aplicación del proceso de adsorción de los metales					
N°	pH (1-14)	Dosis (g/l)	Temperatura (°C)	Tiempo(h)	Autores
1	-	-	-	-	Ali et al. (2017)
2	-	-	-	1.00	Chen et al. (2020)
3	0.5	2	27	2.00	Fort et al. (2020)
4	6	-	-	1.00	Greenstein et al. (2019)
5	6	-	-	-	Li Z et al. (2018)
6	7.1	0.5	25	0.50	Chenliu et al. (2020)
7	-	-	-	0.02	Maleki et al. (2019)
8	-	-	-	-	Mishra et al. (2020)
9	6.16	-	-	0.67	Pranudta et al. (2021)
10	-	-	--	1.00	Sharifan et al. (2020)
11	3.5	0.7	60	24.00	Siciliano et al. (2018)
12	6.45	0.5	--	0.50	Van Koetsem et al. (2016)
13	7.96	12	-	-	Vázquez et al. (2021)
14	5	0.5	-	3	Wang et al. (2020)
15	7	60	-	1	Mak et al. (2017)
16	4.5	-	-	0.1	Lakkaboyana et al. (2021)
17	5.2	-	-	1	Rahimi et al. (2015)
18	7.11	-	25	3	Wei et al. (2017)
19	8.5	0.05	-	4	Zhao et al. (2019)
20	10.12	0.03	20	0.44	Xiaowan et al. (2019)

En la Tabla 5 se observó que en las 20 investigaciones seleccionadas trabajaron en valores de pH entre 0.5 y hasta 10.12, con dosis entre 0.03 a 60 g/l. Por otro lado, utilizaron temperaturas de 20 a 60 °C en tiempos de 0.02 a 24 horas. Los estudios de Xiaowan et al. (2019) y Mak et al. (2017) mostraron la cantidad de dosis mínima de 0.03 y máxima de 60 g/l.

Tabla 6. Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas

Ficha 03 - Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas					
Procedencia de la muestra	pH (1-14)	Temperatura (°C)	Concentración Pb	Concentración Hg	Autores
Solución acuosa	6.5	26.65	0.09	0.08	Ali et al. (2017)
Solución acuosa	7.79	26.88	0.065	---	Chen et al. (2020)
Solución acuosa	6.97	23.61	0.016	---	Fort et al. (2020)
Solución acuosa	6.21	20.82	0.021	---	Greenstein et al. (2019)
Solución acuosa	7.16	21.08	0.086	---	Li Z et al. (2018)
Solución acuosa	7.1	27.57	0.044	0.09	Chenliu et al. (2020)
Solución acuosa	7.91	26.22	0.082	0.019	Maleki et al. (2019)
Solución acuosa	7.97	22.12	0.041	---	Mishra et al. (2020)
Solución acuosa	6.09	20.04	0.036	---	Pranudta et al. (2021)
Solución acuosa	7.28	18.46	0.015	---	Sharifan et al. (2020)
Solución acuosa	6.13	19.19	0.06	---	Siciliano et al. (2018)
Solución acuosa	6.45	21.01	0.047	0.015	Van Koetsem et al. (2016)
Solución acuosa	7.96	21.91	0.062	---	Vázquez et al. (2021)
Solución acuosa	6.44	23.94	0.096	0.017	Wang et al. (2020)
Solución acuosa	7.96	25	0.09	0.12	Mak et al. (2017)
Solución acuosa	6.5	-	0.98	0.9605	Lakkaboyana et al. (2021)
Solución acuosa	5.2	18	3.33	--	Rahimi et al. (2015)
Solución acuosa	7.11	25	0.146	0.22	Wei et al. (2017)
Solución acuosa	4.5	--	0.0025	--	Zhao et al. (2019)
Solución acuosa	6.95	25	0.266	--	Xiaowan et al. (2019)

La Tabla 6 mostró las características fisicoquímicas de las aguas contaminadas, donde los valores de pH que trabajaron están en 4.5 a 7.96, con temperaturas mínima de 18 y máxima de 26.88 °C. Por otro lado, las concentraciones de plomo están en 0.0025 a 3.3 g/l, mientras las contracciones de mercurio están en 0.015 a 0.96 g/l. Cabe resaltar que los estudios de Ali et al. (2017), Chenliu et al. (2020), Maleki et al. (2019), Van Koetsem et al. (2016), Mak et al. (2017), Lakkaboyana et al. (2021) y Wei et al. (2017) mostraron mayor cantidad de concentración de plomo y mercurio en el agua.

Tabla 7. Porcentaje de adsorción de los metales de plomo y mercurio

Ficha 04 - Porcentaje de adsorción de los metales							
Metal (plomo/mercurio)	Concentración Inicial (mg/l)		Tiempo de contacto (h)	Capacidad de adsorción (%)	Concentración Final (mg/l)		Adsorción (mg/l)
	Plomo	Mercurio			Plomo	Mercurio	
2.58	0.014	0.25	-	82	0.003	0.05	0.61
-	0.12	0.14	1	99.9	0.1	0.09	0.99
1.23	0.35	0.225	2.00	96.8	0.074	0.1	1.012
-	0.178	0.196	-	87	0.11	-	2.23
0.8537	0.24	-	-	95.7	0.07	0.01	1.47
1.78	0.4	-	0.50	90	0.114	0.02	180
7.64	0.231	0.39	0.02	99	0.08	0.05	1
2.168	0.163	0.38	0.67	99	0.02	0.75	1
0.25	5	0	0.33	98	0.2	0.17	0.2
100	0.14	0.97	1.00	81	0.07	0.08	1
70	0.35	-	24.00	88	0.06	0.014	70
83.3	0.12	0.54	0.5	98	0.09	0.23	0.5
0.12	0.8	-	-	90	0.1513	-	0.98
263.6	428.9	-	3	99.63	263.6	0.27	263.6
60.3	0.44	0.0258	1	99.7	0.16	0.136	80
-	0.56	0.95	0.35	98	0.29	0.69	98
5	0.69	0.53	1	99.5	0.46	0.47	5
2	0.88	0.22	3	99	0.38	0.55	18
1.2	0.35	-	4	90.3	0.12	-	77
0.564	0.48	0.433	0.7	98.2	0.33	0.112	3.21

Los datos contenidos en la Tabla 7 indicaron que en tres investigaciones no se presentó la concentración final de metales pesados como el mercurio, porque llegó adsorber el 100% después de usar las nanopartículas de óxido de hierro. Por otro lado, el porcentaje de adsorción de los metales llegó de 82 hasta 99.9 % con temperaturas de 0.02 hasta 24 °C. El porcentaje de adsorción por parte de las nanopartículas de óxido de hierro demostró que tiene una gran eficiencia.

Tabla 8. Datos de uso de nanopartículas de óxido de hierro para la adsorción de plomo y mercurio

N°	Tipo de Nanopartícula	Concentración Inicial - Plomo (mg/L)	Concentración Inicial - Mercurio (mg/L)	Concentración Final - Mercurio (mg/L)	Concentración Final - Plomo (mg/L)	Tiempo de contacto (horas)	Porcentaje de Adsorción	Autores
1	Óxido de Hierro	0.014	0.25	0.003	0.05	-	82	Ali et al. (2017)
2	Óxido de Hierro	0.12	0.14	0.1	0.09	1	99.9	Chen et al. (2020)
3	Óxido de Hierro	0.35	0.225	0.074	0.1	2.00	96.8	Fort et al. (2020)
4	Óxido de Hierro	0.178	0.196	0.11	-	-	87	Greenstein et al. (2019)
5	Óxido de Hierro	0.24	-	0.07	0.01	-	95.7	Liz et al. (2018)
6	Óxido de Hierro	0.4	-	0.114	0.02	0.50	90	Chenliu et al. (2020)
7	Óxido de Hierro	0.231	0.39	0.08	0.05	0.02	99	Maleki et al. (2019)
8	Óxido de Hierro	0.163	0.38	0.02	0.75	0.67	99	Mishra et al. (2020)
9	Óxido de Hierro	5	0	0.2	0.17	0.33	98	Pranudta et al. (2021)
10	Óxido de Hierro	0.14	0.97	0.07	0.08	1.00	81	Sharifan et al. (2020)
11	Óxido de Hierro	0.35	-	0.06	0.014	24.00	99.1	Siciliano et al. (2018)
12	Óxido de Hierro	0.12	0.54	0.09	0.23	0.5	98	Van et al. (2016)
13	Óxido de Hierro	0.8	-	0.1513	-	-	90	Vázquez et al. (2021)
14	Óxido de Hierro	428.9	-	263.6	0.27	3	99.63	Wang et al. (2020)
15	Óxido de Hierro	0.44	0.0258	0.16	0.136	1	99.7	Mak et al. (2017)
16	Óxido de Hierro	0.56	0.95	0.29	0.69	0.35	98	Lakkaboyana et al. (2021)
17	Óxido de Hierro	0.69	0.53	0.46	0.47	1	99.5	Rahimi et al. (2015)
18	Óxido de Hierro	0.88	0.22	0.38	0.55	3	99	Wei et al. (2017)
19	Óxido de Hierro	0.35	-	0.12	-	4	90.3	Zhao et al. (2019)
20	Óxido de Hierro	0.48	0.433	0.33	0.112	0.7	98.2	Xiaowan et al. (2019)

La Tabla 8 mostró el porcentaje de adsorción de las nanopartículas de óxido de hierro en aguas contaminadas con metales de plomo y mercurio. Los datos obtenidos se encontraron en diferentes unidades de medidas, por tanto, fue necesario hacer transformaciones para llegar a mg/L.

En siete investigaciones aparece la concentración final de plomo y mercurio con un porcentaje muy alto entre 0.136 a 263.6 mg/L después de aplicar las nanopartículas de óxido de hierro, mostrando una eficiencia importante para los objetivos planteados en este trabajo. También es necesario precisar que los tiempos de adsorción son variados para cada estudio que vienen relacionados con el porcentaje de adsorción.

Por lo tanto, con el análisis estadístico se trabajó con el tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro en función al porcentaje de adsorción de los metales presentes en aguas contaminadas para evaluar la eficiencia.

Análisis estadístico descriptivo

Para el análisis estadístico se trabajó con los datos como el tamaño de las nanopartículas y el porcentaje de adsorción de los metales, de esa manera se podrá comparar y demostrar en cada estudio realizado en cuanto influye el tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro en el proceso de adsorción de metales.

Para la estadística se presentó una serie de gráficas de manera específica del tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro con el porcentaje de adsorción de metales ver Figuras 2, 3, 4 y 5.

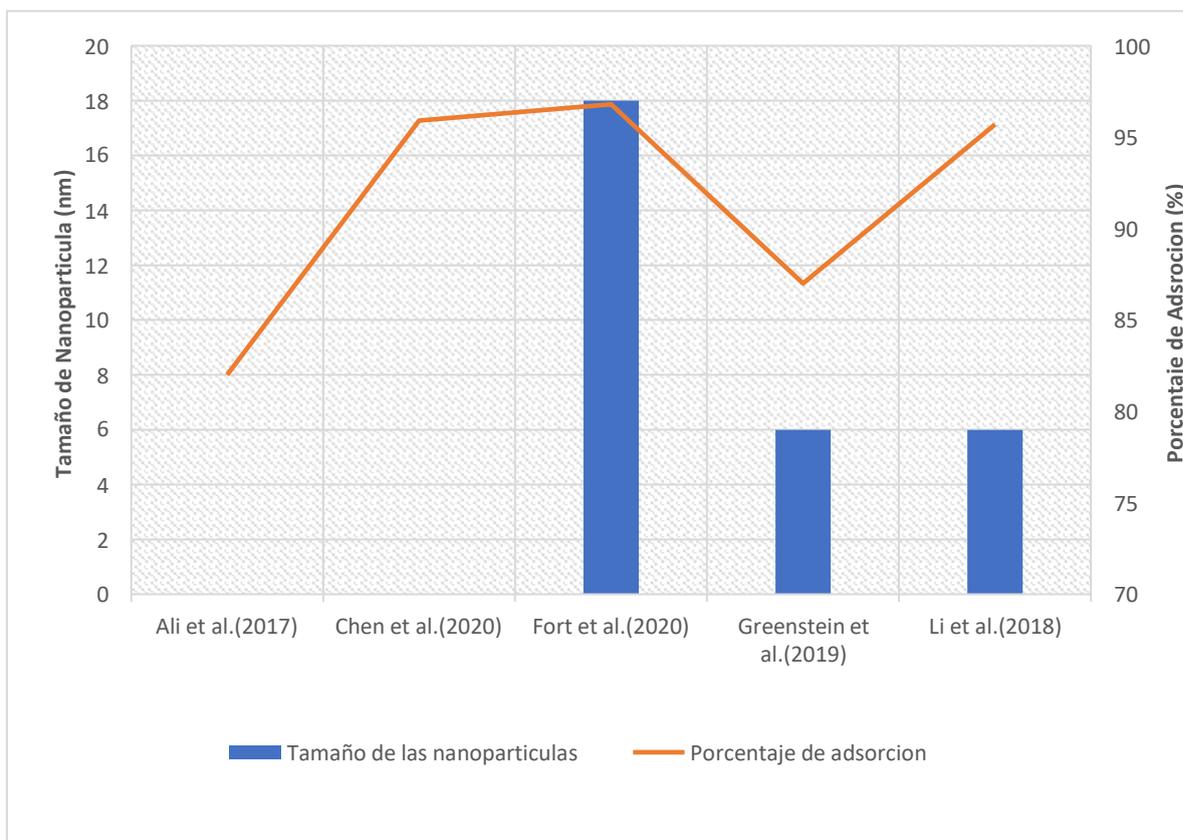


Figura 2. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para la adsorción de metales

En la Figura 2 se observó que el tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro influye en el proceso de adsorción de metales presentes en el agua. En el estudio realizado por Fort et al. (2020) tuvieron un mayor porcentaje de adsorción 96.8 % con un tamaño de nanopartículas de 18 nm, indicando que a mayor tamaño de las nanopartículas existe mayor adsorción de metales. Mientras, los estudios realizados por Greenstein et al. (2019) y Li et al. (2018) mostraron un bajo porcentaje de adsorción utilizando un tamaño de nanopartículas de 6 nm en ambos estudios.

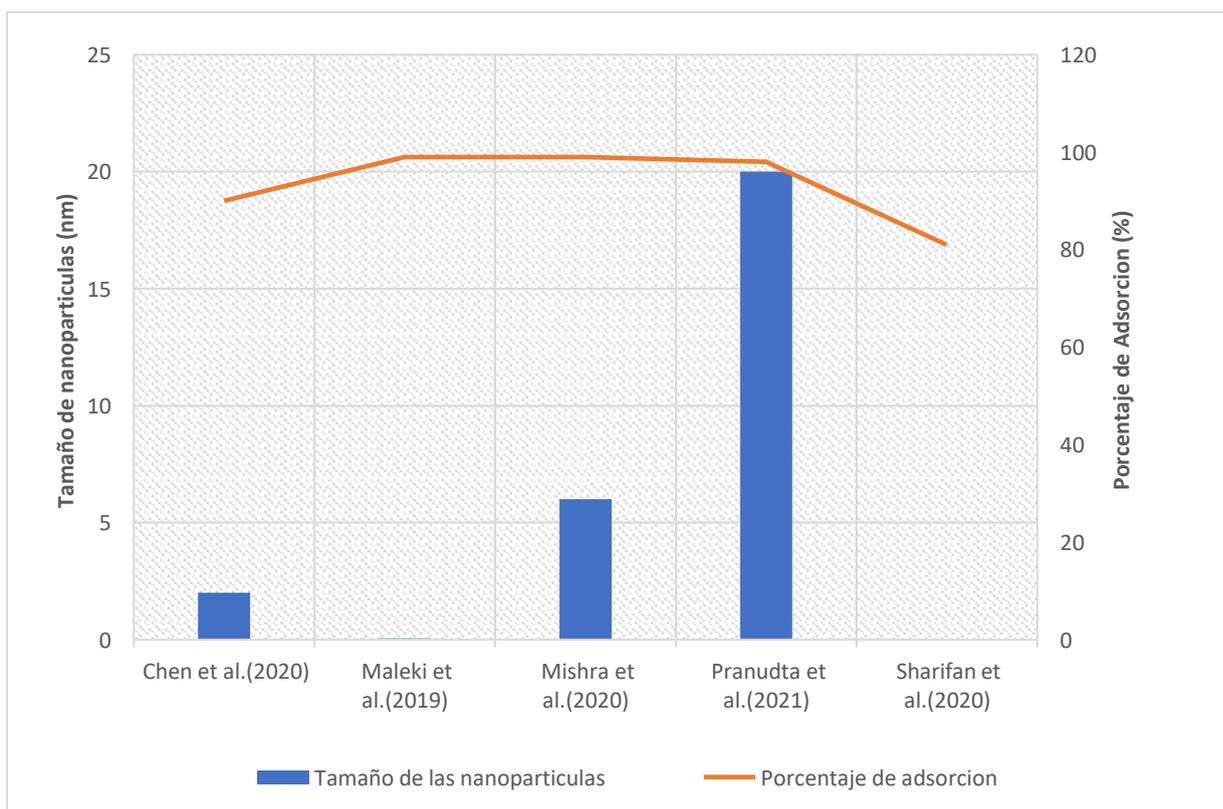


Figura 3. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.

En la Figura 3 se observó que en el estudio de Pranudta et al. (2021) existe un mayor porcentaje de adsorción de metales con 98%, utilizando un tamaño de nanopartículas de óxido de hierro de 20 nm. Esto indica que a mayor tamaño de nanopartículas de óxido de hierro hay mayor porcentaje de adsorción de metales. En otros estudios no influye demasiado el tamaño de las nanopartículas debido a las características fisicoquímicas de las aguas contaminadas, los resultados se muestran menores porcentajes de adsorción, esto debido al tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro que se utilizó y está en el rango de 0.05 hasta 6 nm.

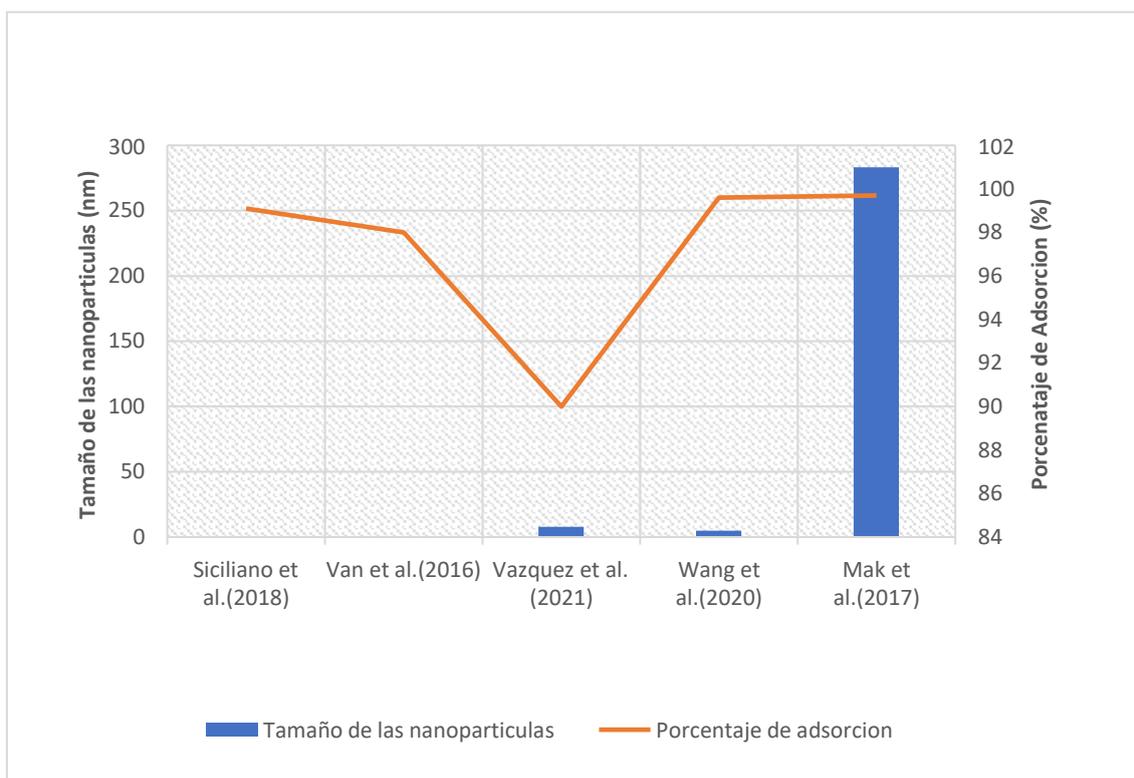


Figura 4. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.

En la Figura 4 se mostró un alto porcentaje de adsorción de metales de plomo y mercurio. El estudio de Mak et al. (2017) tuvo un 99.7% de porcentaje de adsorción, utilizando un tamaño de nanopartículas de óxido de hierro de 283.3 nm, esto demuestra que el tamaño de nanopartículas de óxido de hierro influye en el proceso de adsorción de metales. Mientras, en los otros estudios realizados por Vázquez et al. (2021) y Wanh et al. (2020) utilizaron tamaños de nanopartículas de óxido de hierro de 0.025 y 0.05 nm y tuvieron menores porcentajes de adsorción de metales. El estudio de Siciliano et al. (2018) utilizaron un tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro de 0.45 nm y tuvo un 88 % de porcentaje de adsorción de metales.

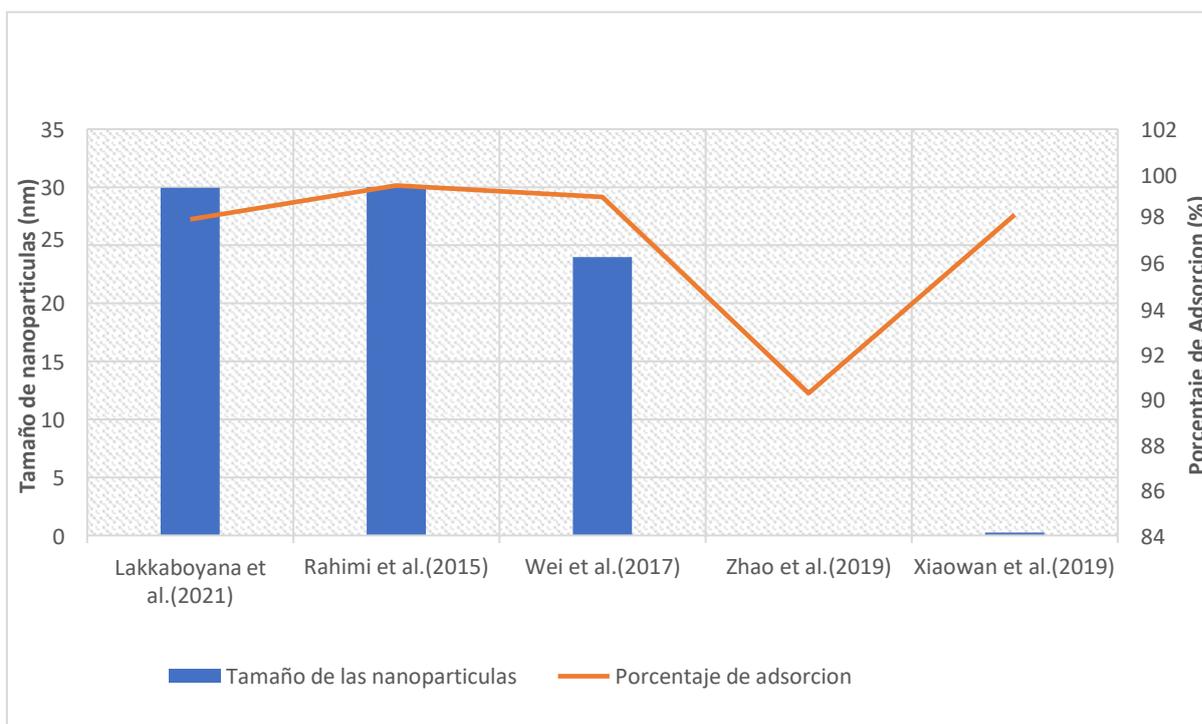


Figura 5. Tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro para el porcentaje de adsorción de los metales.

En la Figura 5 se mostró un porcentaje de adsorción alto de 99 a 99.5 % con un tamaño de nanopartículas de óxido de hierro de 30 a 24 nm en los estudios realizados por Lakkaboyane et al. (2017) y Rahimi et al. (2015). Mientras, el estudio de Xiaowan et al. (2019) utilizaron un tamaño de nanopartículas del óxido hierro de 0.25 nm y tuvo un porcentaje de adsorción de 98.2 %.

Interpretación de gráficos en excel

En las siguientes figuras se observa la interpretación de gráficas de acuerdo con fichas de recopilación de datos.

En la Figura 6 se presentan las características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro, donde se muestran el porcentaje de adsorción según el tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro en cada estudio realizado.

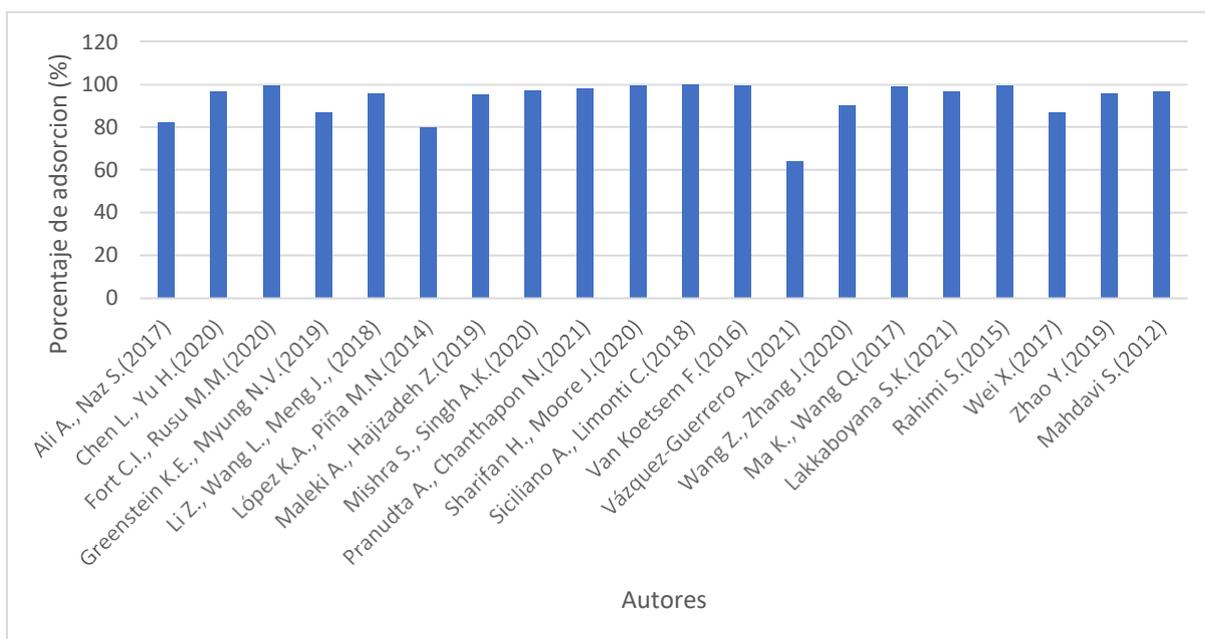


Figura 6. Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro

A partir de la Figura 6 los estudios de Vázquez et al. (2021), López et al. (2014) y Ali et al. (2017) mostraron un bajo porcentaje de adsorción de metales, donde el tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro que utilizaron está entre 0.025 a 0.05 nm, con una capacidad de adsorción entre 98 a 99% de los metales. Las 17 investigaciones restantes mostraron un vínculo entre las nanopartículas de óxido de hierro más grandes, en las cuales la capacidad de adsorción es mucho mayor en seis estudios, que son los de Wei et al. (2017), Rahimi et al. (2015), Mak et al. (2017), Wang et al. (2020), Mishra et al. (2020) y Maleki et al. (2019). Este dato brinda una información importante para tener y buscar el tipo de nanopartículas de óxido de hierro para el uso en aguas contaminadas

Por otro lado, las características fisicoquímicas que presentan las nanopartículas de óxido de hierro, tales como la densidad y el punto de fusión con respecto a su capacidad de adsorción, van de manera proporcional, de acuerdo con el análisis de los datos expuestos. En síntesis, estas nanopartículas de óxido de hierro presentan mejores características en los 14 estudios que fueron seleccionados para el presente análisis.

En la Figura 7 se presentan las condiciones operacionales de aplicación del proceso de adsorción de los metales. Igualmente, en 20 investigaciones se muestra la variación del tiempo para el proceso de adsorción de los metales en aguas contaminadas.

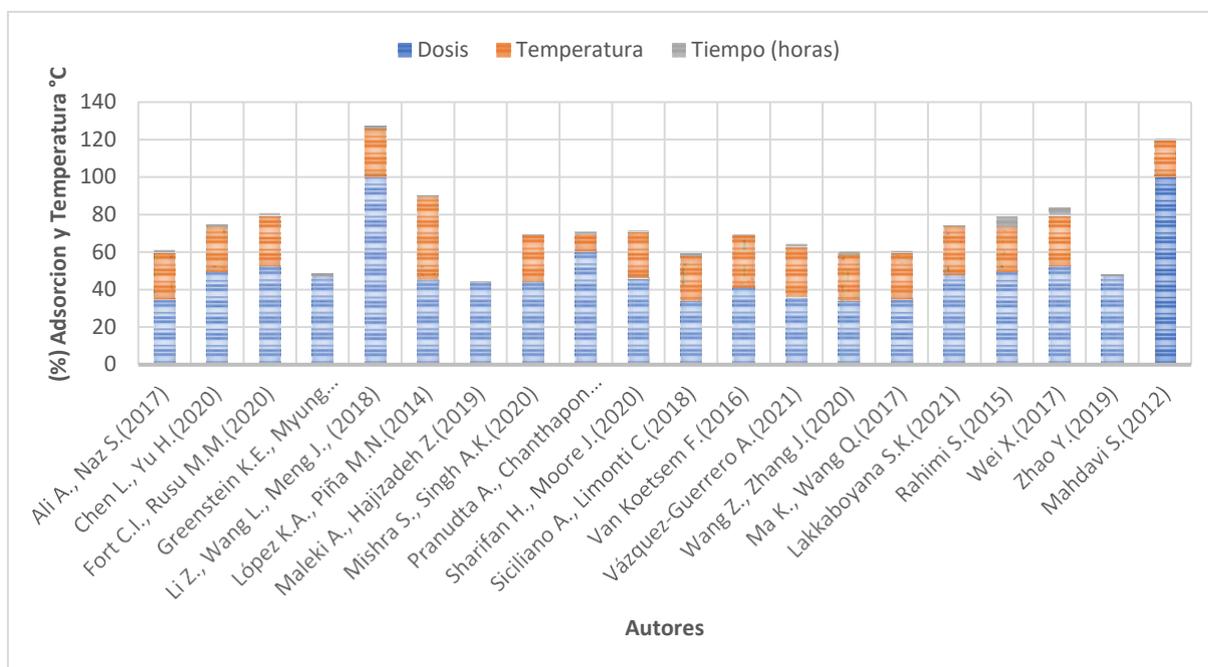


Figura 7. Condiciones operacionales

En la Figura 7 los estudios indicaron que la temperatura fue muy importante para realizar este tipo de estudios, donde, la temperatura en 5 estudios estaban en un rango 20 a 60 °C, que es adecuado para tomar en cuenta cuando se usa dentro del ambiente en que se encuentren los metales en el agua. De los 20 artículos en estudio, en diez de ellos el tiempo de la adsorción para el proceso fue superior de 1 a 24 horas, lo cual, se podría considerar para la aplicación en campo. En seis artículos se observó que el tiempo está entre 0.02 a 0.67 horas, Es posible afirmar que entre más rápido se pueda dar, más espacio se puede abarcar, y solucionar la contaminación de las aguas contaminadas con plomo y mercurio.

Los estudios mostraron que las características necesarias para el proceso de la adsorción de estos metales, es que las nanopartículas alcancen los márgenes que se muestren en las 20 investigaciones seleccionadas, y en la

revisión de estas se identificaron reacciones favorables al reducir el contenido de los metales hasta más del 99 % en muchos casos.

En la Figura 8 se ilustran las características fisicoquímicas de las aguas contaminadas de los 20 estudios realizados, las muestras están en solución acuosa.

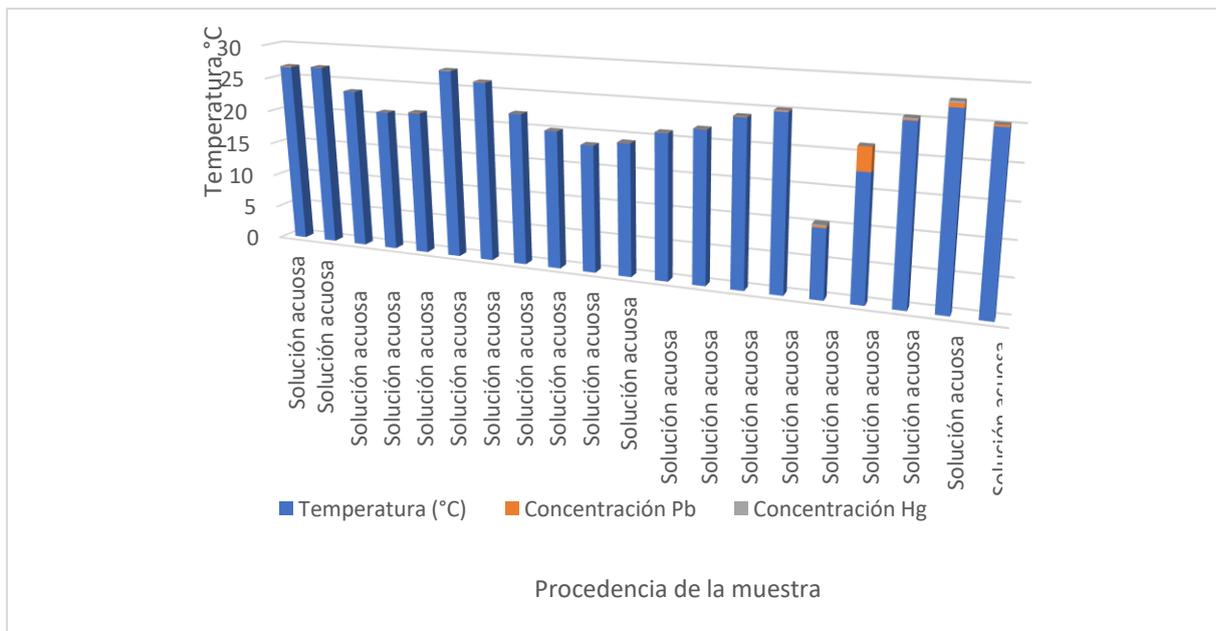


Figura 8. Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas

En la Figura 8 se observó que, a fin de reducir la cantidad de plomo y mercurio del agua, se debe analizar el estado en que se encuentran al momento de hacer el proceso. Las muestras utilizadas en las 20 investigaciones fueron de soluciones acuosas con un pH de 4.5 hasta 7.97; en dos casos se observó que las muestras de las aguas contaminadas estaban a una temperatura de 0°C, que se influyen por el ambiente y lugar tropical en que se realizaron las pruebas; por eso, las concentraciones de plomo están en una escala de 0.0025 a 3.33 mg/l, y la temperatura bordea los 18 °C, por consiguiente, las reacciones de las nanopartículas tendrían que ser mayores para llegar al resultado esperado.

La concentración de mercurio observada esta entre 0.015 hasta 0.95 mg/l, pero estas concentraciones sólo aparecen en ocho de los estudios seleccionados, porque las muestras extraídas son de los lugares de menor contaminación del agua.

En la Figura 9 se observa el porcentaje de adsorción de los metales, los cuales se evaluaron en todas las investigaciones para lograr una adsorción eficiente.

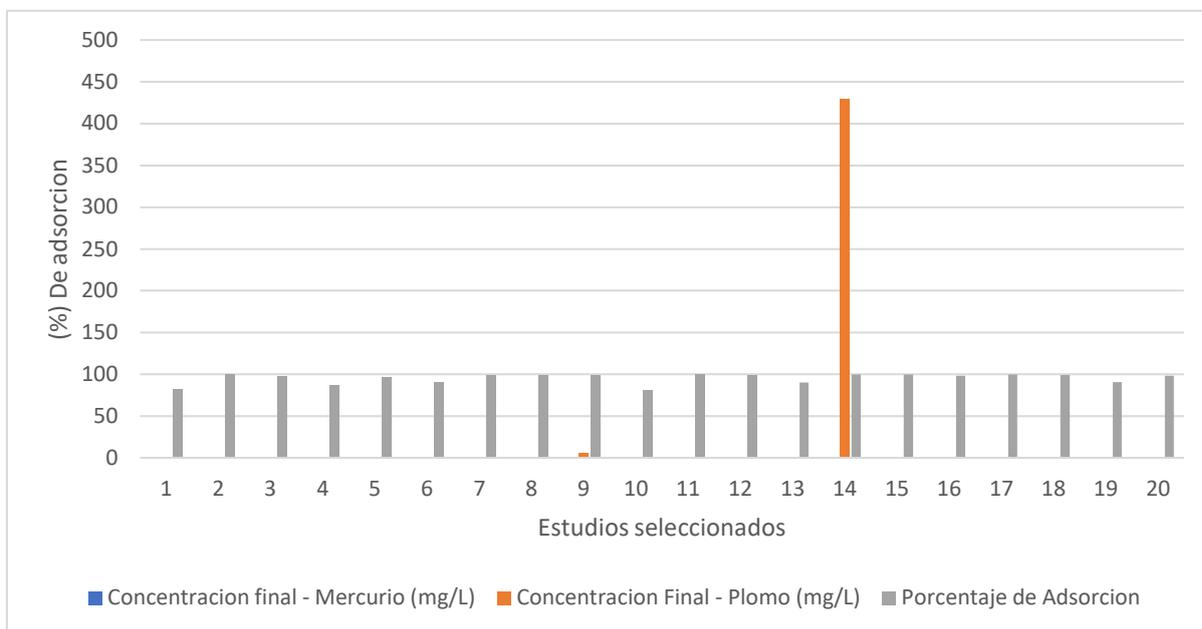


Figura 9. Porcentaje de adsorción de los metales

En la Figura 9 se observó que, en cada uno de los estudios mostrados, la capacidad de adsorción de los metales pesados de (plomo y mercurio) aumenta después de utilizar las nanopartículas de óxido de hierro, por consiguiente, reduce su presencia en aguas contaminadas. De los 19 estudios seleccionados mostraron que la concentración final del plomo y mercurio fue mínima después de utilizar las nanopartículas de óxido de hierro, solo en el estudio de Wang et al. (2020) mostró 263.6 mg/l de concentración final de mercurio.

V. DISCUSIÓN

En todas las investigaciones incluidas se evaluó la calidad del estudio. Según los datos obtenidos del análisis estadístico, el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio fue eficiente, de modo que se obtuvo un porcentaje de adsorción entre el 81 % hasta un 99 %.

De esta manera, las investigaciones realizadas por Chen et al. (2020), Fort et al., (2020), Maleki et al. (2019), Mishra et al. (2020), Rahimi et al. (2015), Siciliano et al. (2018), Wang et al. (2020) y Wei et al. (2017) obtuvieron el mayor porcentaje de adsorción utilizando nanopartículas de óxido de hierro, con una dosis de 0.61 a 263.3 mg/l, con un tiempo de 0.02 a 24 horas cada uno para el dicho procedimiento, con un pH de 0.5 y 10.12 del agua. En la cual la capacidad de adsorción de los metales pesados, cadmio y cobre no se encuentra relacionada debido a la solubilidad en agua de dichos metales. Sin embargo, es importante aclarar que estos no fueron incluidos en los resultados.

En los estudios mencionados anteriormente se lograron extraer casi en su totalidad el plomo y mercurio del agua contaminada, mostrando que el proceso se realizó en un tiempo aproximado entre una hora para lograr estos porcentajes de adsorción. También, es importante conocer las características fisicoquímicas de las aguas contaminadas.

Al respecto, Zhang et al. (2020) mencionaron que el plomo ha atraído la atención mundial, debido a que tiene la capacidad de producir peligros, graves e irreversibles en la salud de los seres humanos y el medio ambiente. Así, las propiedades fisicoquímicas del adsorbente utilizado, en este caso el óxido de hierro, influye en gran medida en la eficacia de eliminación de Pb^{2+} .

Asimismo, las condiciones operacionales de los metales tuvieron una gran influencia para el proceso de adsorción. Tal como se mencionó, el tiempo de contacto, el pH, la dosis y la temperatura fueron relevantes para la adsorción del plomo y mercurio del agua. Por ejemplo, el estudio de Chen et al. (2020) obtuvo un valor más alto en la adsorción, que fue del 99.9 %. Los autores investigaron la eficiencia de adsorción de nanopartículas de óxido de hierro en el agua contaminada. De este modo, demostraron que la temperatura adecuada es de

25 °C y el mayor tiempo de exposición es superior a una hora. Adicionalmente, afirmaron que el tamaño de las nanopartículas y el área superficial de las nanopartículas de óxido de hierro influyen bastante en el proceso de adsorción, y que sufre una pequeña transformación en su característica durante el proceso.

Por otro lado, Ma et al. (2017), presentaron resultados con un nivel de adsorción de 99.7 %, en sus características planteaba una mejora en el nivel de adsorción, trabajando en relación de un tiempo estimado de una hora; en otras palabras, necesitó una mayor exposición de las nanopartículas para llegar a un efecto muy aceptable. La dosis que se aplicó fue de 60 g/l, con una temperatura de 25 °C, lo cual incrementó la operacionalización de las nanopartículas.

Estos primeros estudios evidenciaron una excelencia para lograr el objetivo más alto, a fin de disminuir la contaminación en las aguas, y señalar las características que presentan las nanopartículas de óxido de hierro, como la densidad y el punto de fusión con respecto a la capacidad de adsorción, que es proporcional con lo que se concluye que entre mejores características presenten estas nanopartículas, mejores serán los resultados.

Por su parte, Sharifan et al. (2020), mostraron en su investigación una adsorción de 81 %, que es el valor mínimo de adsorción de los metales presentes en el agua, debido a que el tiempo de contacto es de una hora y las concentraciones de plomo y mercurio están en 0.014 y 0.97 mg/L; esto depende del tamaño de las nanopartículas de óxido de hierro que emplearon los autores.

Igualmente, Maleki et al. (2019) y Mishra et al. (2020) evidenciaron que obtuvieron valores de adsorción menores de 99 %. De manera semejante, determinaron que el tiempo de adsorción varía entre 0.02 a 0.67 horas, donde muestran el mismo valor de porcentaje de adsorción, incluyendo un pH en el rango de 7.91, que para este estudio fue adecuado al momento de aplicar la adsorción de los metales.

Para esto, se tomaron en cuenta los datos de cómo estaban las concentraciones de plomo y mercurio tanto al inicio de la prueba y cómo terminaron después de la aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro, con la que se logró una adsorción de hasta el 99%, con concentraciones de 0.082

en plomo y de 0.019 mg/L en mercurio. Las muestras se encontraron en soluciones acuosas y cabe mencionar que el tiempo y la temperatura variaron en cada caso, dadas las concentraciones de estos metales pesados en el agua.

Además, es importante señalar que la capacidad de adsorción es fundamental para este tipo de investigaciones sobre aguas contaminadas con metales; es de las mejores condiciones para que los metales sean extraídos y, por ende, la calidad del agua mejore. En cuanto a la capacidad de adsorber a estos metales, el óxido de hierro se establece como un elemento vital en este proceso, pues los porcentajes de adsorción más altos se tuvieron en los estudios donde fueron expuestos a mayor tiempo y las temperaturas estuvieron en relación a 25 °C.

A partir de lo mencionado, se puede asegurar que alcanzar estos valores representa el 99.9 % de efectividad. Por tal motivo, en comparación con los demás resultados, los autores de estas investigaciones están de acuerdo con que se logran mejores resultados si el tiempo de exposición es mayor.

Otros factores relevantes al respecto son el tamaño de la nanopartícula de óxido de hierro, la dosis y el punto de fusión, debido a que pueden cambiar según el campo y la realidad en que se encuentren las aguas contaminadas; sobre todo en las zonas mineras, donde estos pueden ser alterados por parte del proceso de activación y conducir a diversos resultados, donde no siempre son los esperados.

Al iniciar el proceso de activación de estas nanopartículas y considerar los artículos de investigación, se identificó que existe una capacidad de adsorción variada, por lo que se mostró un nivel diferente. Luego de la aplicación, se acercó a los datos esperados, como se ha expuesto. En los trabajos de Cortés et al. (2021) y Vázquez-Guerrero et al. (2021) se aplicaron las mismas metodologías y se lograron mejores resultados de adsorción, aunque el resultado fue más bajo (64 %).

En síntesis, estas son las características del proceso de adsorción del agua: las nanopartículas de óxido de hierro con un pH de 7.79, con un tiempo de una hora, el porcentaje de adsorción fue de 99.9 % y su eficiencia fue superior a la

de todos los artículos seleccionados. Esto permite concluir que el uso de nanopartícula de óxido de hierro es eficiente para solucionar problemas de contaminación del agua con metales pesados como el plomo y mercurio.

Finalmente, la utilización de nanopartículas de óxido de hierro ha recibido mucha aceptación debido a su propiedad única, como la alta relación de área de superficie a volumen, la modificabilidad de la superficie, las excelentes propiedades magnéticas y la gran biocompatibilidad. Las nanopartículas de óxido de hierro son nanosorbentes eficientes para metales pesados, orgánicos y contaminantes, la cual se proyecta como una de las aplicaciones más atractivas y exitosas del óxido de hierro en la actualidad, pues ha resultado ser un producto altamente eficiente en cuanto al proceso de adsorción, no solo de metales pesados, sino también en la industria de la biomedicina e industria farmacéutica.

VI. CONCLUSIONES

La investigación mostró que el uso de las nanopartículas de óxido de hierro es un tratamiento eficiente para la adsorción de plomo y mercurio en aguas contaminadas, alcanzando valores entre el 81 y 99.9 %.

- Las características físico-químicas evaluadas de las nanopartículas de óxido de hierro fueron el tamaño de partícula, la densidad, el punto de fusión y la capacidad de adsorción. Las nanopartículas tuvieron tamaños de 0.025 a 0.05 nm, con capacidades de adsorción entre el 98 y 99 %.
- Las condiciones operacionales en la aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro fueron pH, temperatura y tiempo de contacto, siendo el pH y la temperatura los parámetros de mayor importancia. El pH adecuado fue de 6.13 hasta 7.79 y a temperaturas promedio de 22 °C.
- Las características físico-químicas evaluadas en las aguas contaminadas fueron pH, temperatura y procedencia de la muestra.
- Los mayores porcentajes de adsorción para el plomo fueron 99.7 y 99.9% utilizando el tamaño de nanopartícula de óxido de hierro de 283.3 nm. De igual modo, para el mercurio fueron 99.0 y 99.63 % utilizando el tamaño de nanopartículas de óxido de hierro de 24 a 30 nm.

VII. RECOMENDACIONES

- Implementar técnicas adicionales al tratamiento de aguas contaminadas para obtener una mayor eficiencia en la adsorción de los metales.
- Realizar una revisión sistemática acerca de la aplicación de nanopartículas de óxido de hierro con otros metales en aguas contaminadas, especialmente las que se encuentran en zonas mineras.
- Incluir la búsqueda de artículos en base de datos como, EBSCO, ProQuest y Science Direct, para mejorar la información y los datos obtenidos.
- Evaluar la eficiencia de las nanopartículas de óxido de hierro para adsorber o eliminar otras sustancias contaminantes presentes en cuerpos de agua, como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, sales, entre otros.

REFERENCIAS

AHMADI, M.; FELICIANA, M.; JAAFARZADEH, N.; RAMEZANI, Z.; RAMAVANDI, B.; JORFI, S.; KAKAVANDI, B.: Synthesis of chitosan zero-valent iron nanoparticles-supported for cadmium removal: Characterization, optimization and modeling approach. In: Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA vol. 66 (2017), Nr. 2, pp. 116–130

Ali, L., Peng, C., Lin, D., (...), Sultan, M., Ali, M. Adsorption of Ni²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺, Cr³⁺, and Co²⁺ on iron oxide nanoparticles immobilized on cellulose fiber: Equilibrium, kinetic, thermodynamic, mechanisms, and statistical. Ln: vol 95 (2017). DOI:10.5004/dwt.2017.21560

BAE, S.; COLLINS, R.N.; WAITE, T.D.; HANNA, K.: Advances in Surface Passivation of Nanoscale Zerovalent Iron: A Critical Review. In: Environmental Science and Technology vol. 52 (2018), Nr. 21, pp. 12010–12025

BETANCUR, Claudia; HERNANDEZ, Vanessa y BUITRAGO, Robinson. Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. Rev. Cubana Invest Bioméd [online]. 2016, vol.35, n.4 [citado 2021-06-23], pp.387-402. Disponible en:<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002016000400009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0864-0300.

Benítez-Benítez, Ricardo.; Pabón-Guerrero, Santiago Eduardo Sarria-Villa, Rodrigo Andrés: Synthesis of iron oxide nanoparticles. Departamento de Química, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia [online]. Volume 88, Issue 216, Pages 220 - 226 January-March 2021.

CHEN, L.; YU, H.; DEUTSCHMAN, C.; YANG, T.; TAM, K.C.: Novel design of Fe-Cu alloy coated cellulose nanocrystals with strong antibacterial ability and efficient Pb²⁺ removal. In: Carbohydrate Polymers vol. 234 (2020)

DERCO, J.; DUDÁŠ, J.; VALIČKOVÁ, M.; ŠIMOVIČOVÁ, K.; KECSKÉS, J.: Removal of micropollutants by ozone-based processes. In: Chemical Engineering and Processing: Process Intensification vol. 94 (2015), pp. 78–84

DIAGBOYA, P.N.; OLU-OWOLABI, B.I.; ADEBOWALE, K.O.: Synthesis of covalently bonded graphene oxide-iron magnetic nanoparticles and the kinetics of mercury removal. In: RSC Advances vol. 5 (2015), pp. 2536–2542

DOMINGUEZ, Julio. Manual de metodología de la investigación científica [en línea]. 3era edición. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote, diciembre 2015. [Fecha de consulta 7 de mayo 2020]. ISBN: 978-612-4308-017.

GARCIGA, Octavio; FABELO, Justo; IGLESIAS, Serguei y MACHADO, Lázaro. Consumo de drogas y estilo de vida en estudiantes de la facultad de comunicación. Rev. Cubana Salud Pública [online]. 2016, vol.42, n.3 [citado 2021-05-01], pp.361-374. Disponible

en:<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086434662016000300004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0864-3466

GALVAN. A: nanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación [en línea]. Vol. 8 (2015). Disponible en <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2015.14.52514>

GREENSTEIN, K.E.; MYUNG, N.V.; PARKIN, G.F.; CWIERTNY, D.M.: Performance comparison of hematite (A-Fe₂O₃)-polymer composite and core-shell nanofibers as point-of-use filtration platforms for metal sequestration. In: Water Research vol. 148 (2019), pp. 492–503]. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, United States: Volume 148, Pages 492 – 503 [Fecha de consulta 28 de setiembre de 2021]

GOMEZ. Fernando: Nanoparticulas metalicas y sus aplicaciones en el tratamiento de aguas contaminadas [en línea]. Vol 8. Año de publicación 2012. https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf

GONZÁLEZ, FORTE, LUCÍA, DEL SOL.; PÉREZ ,DE BERTI, IGNACIO, OMAR.;
MARCHETTI, SERGIO GUSTAVO.; CAGNOLI, MARÍA VIRGINIA:

Síntesis **de** nanopartículas **de** óxidos de hierro superparamagnéticas **de** hierro para utilizar **en el tratamiento de aguas contaminadas** por fenol mediante **el** proceso Fenton heterogéneo [en línea]. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119323>

GUO, X.; YANG, Z.; DONG, H.; GUAN, X.; REN, Q.; LV, X.; JIN, X.: Simple combination of oxidants with zero-valent-iron (ZVI) achieved very rapid and highly efficient removal of heavy metals from water. In: Water Research vol. 88 (2016), pp. 671–680

HE, Y., WANG, W., CHEN, Y. y YAN, H., 2021. Assessing spatio-temporal patterns and driving force of ecosystem service value in the main urban area of Guangzhou. Scientific Reports [en línea]. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1-18. [fecha de consulta: 01 de junio 2021] ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-021-82497-6

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., y BAPTISTA, P. (2014). Metodología de la Investigación: [en línea] McGraw-Hill. Sexta ed. México. [fecha de consulta: 05 de junio 2021]. ISBN: 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

JIANG, Y., ZHANG, L., YAN, M., QI, J., FU, T., FAN, S. y CHEN, B. Remote sensing High-Resolution Mangrove Forests Classification with Machine Learning Using Worldview and UAV Hyperspectral Data [en línea].2021, [fecha de consulta: 22 de mayo 2021]. DOI 10.3390/rs13081529

JONES, C.J.; CHATTOPADHYAY, S.; GONZALEZ-PECH, N.I.; AVENDANO, C.; HWANG, N.; LEE, S.S.; CHO, M.; OZAROWSKI, A.; ET AL.: A novel, reactive green iron sulfide (Sulfide Green Rust) formed on iron oxide nanocrystals. In: Chemistry of Materials vol. 27 (2015), Nr. 3, pp. 700–707.

KAMEL, S.; EL-GENDY, A.A.; HASSAN, M.A.; EL-SAKHAWY, M.; KELNAR, I.: Carboxymethyl cellulose-hydrogel embedded with modified magnetite

nanoparticles and porous carbon: Effective environmental adsorbent. In: Carbohydrate Polymers vol. 242 (2020)

KARATAPANIS, A.E.; PETRAKIS, D.E.; STALIKAS, C.D.: A layered magnetic iron/iron oxide nanoscavenger for the analytical enrichment of ng-L^{-1} concentration levels of heavy metals from water. In: Analytica Chimica Acta vol. 726 (2012), pp. 22–27

KARIMI, B.; MA'MANI, L.; AMIN, A.A.; KARIMI, H.; HOSSINI, H.: Ionic liquid modified magnetic nanoparticles-graphene hybrid (Fe_3O_4 @go-il) for the removal of ibuprofen and penicillin G from aqueous solutions. In: Desalination and Water Treatment vol. 208 (2020), pp. 355–366

VAN KOETSEM, F.; VAN HAVERE, L.; DU LAING, G.: Impact of carboxymethyl cellulose coating on iron sulphide nanoparticles stability, transport, and mobilization potential of trace metals present in soils and sediment. In: Journal of Environmental Management vol. 168 (2016), pp. 210–218

LAKKABOYANA, S.K.; KHANTONG, S.; ASMEL, N.K.; OBAIDULLAH, S.; KUMAR, V.; KANNAN, K.; VENKATESWARLU, K.; YUZIR, A.; ET AL.: Indonesian Kaolin supported nZVI (IK-nZVI) used for an efficient removal of Pb (II) from aqueous solutions: Kinetics, thermodynamics and mechanism. In: Journal of Environmental Chemical Engineering vol. 9 (2021), Nr. 6

LI, Z.; WANG, L.; MENG, J.; LIU, X.; XU, J.; WANG, F.; BROOKES, P.: Zeolite-supported nanoscale zero-valent iron: new findings on simultaneous adsorption of Cd (II), Pb (II), and As (III) in aqueous solution and soil. In: Journal of Hazardous Materials vol. 344 (2018), pp. 1–11

LIAO, Q.; TU, G.; YANG, Z.; WANG, H.; HE, L.; TANG, J.; YANG, W.: Simultaneous adsorption of As (III), Cd (II) and Pb (II) by hybrid bio-nanocomposites of nano hydroxy ferric phosphate and hydroxy ferric sulfate particles coating on *Aspergillus niger*. In: Chemosphere vol. 223 (2019), pp. 551–559

LIU, X.; LAI, D.; WANG, Y.: Performance of Pb (II) removal by an activated carbon supported nanoscale zero-valent iron composite at ultralow iron content. In: Journal of Hazardous Materials vol. 361 (2019), pp. 37–48

MA, D.; ZOU, X.; LI, R.; CHEN, P.; WANG, Y.; CHEN, T.; ZHANG, Q.; LIU, H.; ET AL.: Highly efficient adsorption of Pb (II) by cubic nanocrystals in aqueous solution: Behavior and mechanism. In: Arabian Journal of Chemistry vol. 13 (2020), Nr. 5, pp. 5229–5240

MALEKI, A.; HAJIZADEH, Z.; SHARIFI, V.; EMDADI, Z.: A green, porous and eco-friendly magnetic geopolymer adsorbent for heavy metals removal from aqueous solutions. In: Journal of Cleaner Production vol. 215 (2019), pp. 1233–1245

CLAR, MATEU L.; MOREY SALVÀ, JERONI.; Aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro a la eliminación de mercurio del agua. [Fecha de consulta 12 de junio de 2022]. Disponible en <http://hdl.handle.net/11201/1143>

MEDINA, M. Las nanopartículas y el medio ambiente [en línea]. uct vol.19 no.74 Puerto Ordaz mar. 2015. [Fecha de consulta 12 de mayo de 2021]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100005

MISHRA, S.; SINGH, A.K.; SINGH, J.K.: Ferrous sulfide and carboxyl-functionalized ferroferric oxide incorporated PVDF-based nanocomposite membranes for simultaneous removal of highly toxic heavy-metal ions from industrial ground water. In: Journal of Membrane Science vol. 593 (2020) [en línea]. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur, India: Volume 5931 [Fecha de consulta 26 de September de 2021]

ODILON CORREA CUBA, FRIDA ESMERALDA FUENTES BERNEDO, Rosa Gabriela Coral Surco: Pollution by heavy metals of the agricultural micro-basin of the Huancaray River – Perú: Revista de la Sociedad Química del Perú: versión impresa ISSN 1810-634X: Rev. Soc. Quím. Perú vol.87 no.1 Lima ene./mar 2021: disponible en <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>

ORTIZ, Villabona angel. Adsoncion de metals pesados en aguas contaminadas: [En linea]. 2012, vol. 18, no. 34, pp. 109-123, 2015.Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. Int. J. Morphol. [Online]. 2017, vol.35, n.1 [citado 2021-05-20], pp.227-232.Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso>.

PRANUDTA, A.; CHANTHAPON, N.; KIDKHUNTHOD, P.; EL-MOSELHY, M.M.; NGUYEN, T.T.; PADUNGTION, S.: Selective removal of Pb from lead-acid battery wastewater using hybrid gel cation exchanger loaded with hydrated iron oxide nanoparticles: Fabrication, characterization, and pilot-scale validation. In: Journal of Environmental Chemical Engineering vol. 9 (2021), Nr. 5

RAZ, J. Nanoparticles [en línea]. Berlín: De Gruyter. 2015. [Fecha de consulta 12 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=24&sid=85863572-ce89-44f0-b890-3ee689a78e5e%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=1000455&db=nlebk>

Rodríguez, Andy.; Paneque-Quevedo, Armando Augusto.; Sablón-Carrazana, Marquiza.; Rodríguez-Tanty, Chryslaine.; Díaz-García, Alicia.: Síntesis y caracterización **de nanopartículas de óxido de hierro** funcionalizadas [en línea]. Editorial Universitaria **de** la República **de** Cuba. Vol. 34 Issue 1, p49, 20 p. April, 2022.

ROBLES ARDILA, DIANA PAOLA.; RODRIGUEZ PARDO, NATALIA.; MATEUS, ALIS.: Synthesis of magnetite nanoparticles using papaya peel extract for the azo dyes degradation in aqueous solutions [en línea]. Ingeniare. Revista chilena

de ingeniería, vol. 27 N.º 3, 2019, pp. 431-442 AÑO 2018. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n3/0718-3305-ingeniare-27-03-00431.pdf>

RUSU M. Et al. Carbon Xerogel Nanostructures with Integrated Bi and Fe Components for Hydrogen Peroxide and Heavy Metal Detection. 2020 [en línea]. Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, "Babes-Bolyai" University, Romania: Volume 26, Issue 1 [Fecha de consulta 28 de octubre de 2021]

SARA SANTANA BÁEZM, ARIAZEL MENDOZA MARTÍN· MARÍA CAROLINA QUEVEDO VILLEGA, EDGAR JOSUE GUTIÉRREZ DISLA, Systematic Review of Toxic Effects of Metal Nanoparticles on Workers' Health [en línea]. vol.64 no.252 Madrid jul./sep. 2018

SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. Líber. [Online]. 2007, vol.13, n.13 [citado 2021-05-12], pp.71-78. Disponible

en:<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1729-4827

SILVA, Alicia. metodología cuantitativa: abordaje desde la complementariedad en ciencias sociales [en línea]. 3ra edición. Universidad de Costa Rica, año 2013. [Fecha de consulta 16 de mayo de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/153/15329875002.pdf>

SILVA-RÊGO, LEONARDO LUCAS; DE ALMEIDA, LEONARDO AUGUSTO; Gasparotto, Juciano: Toxicological effects of mining hazard elements [en línea]. Volume 3, Issue 3, Pages 255 - 262 July 2022

SHARIFAN, H.; MOORE, J.; MA, X.: Zinc oxide (ZnO) nanoparticles elevated iron and copper contents and mitigated the bioavailability of lead and cadmium in different leafy greens. In: Ecotoxicology and Environmental Safety vol. 191 (2020)

SHI, Y.; XING, Y.; DENG, S.; ZHAO, B.; FU, Y.; LIU, Z.: Synthesis of proanthocyanidins-functionalized Fe_3O_4 magnetic nanoparticles with high solubility for removal of heavy-metal ions. In: Chemical Physics Letters vol. 753 (2020)

VENTURA, José Luis. Population or sample? A necessary difference [en línea]. Rev Cubana Salud Pública vol.43 no.4 Ciudad de La Habana oct.- dic. 2017. [Fecha de consulta 17 de mayo 2021]. disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662017000400014

WANG, M.; LI, Y.; ZHAO, D.; ZHUANG, L.; YANG, G.; GONG, Y.: Immobilization of mercury by iron sulfide nanoparticles alters mercury speciation and microbial methylation in contaminated groundwater. In: Chemical Engineering Journal vol. 381 (2020)

WANG, Z.; WU, Q.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; FENG, J.; DONG, S.; SUN, J.: In situ polymerization of magnetic graphene oxide-diaminopyridine composite for the effective adsorption of Pb (II) and application in battery industry wastewater treatment. In: Environmental Science and Pollution Research vol. 26 (2019), Nr. 32, pp. 33427–33439

WEI, X.; SUGUMARAN, P.J.; PENG, E.; LIU, X.L.; DING, J.: Low-Field Dynamic Magnetic Separation by Self-Fabricated Magnetic Meshes for Efficient Heavy Metal Removal. In: ACS Applied Materials and Interfaces vol. 9 (2017), Nr. 42, pp. 36772–36782

XU, Q.; LI, W.; MA, L.; CAO, D.; OWENS, G.; CHEN, Z.: Simultaneous removal of ammonia and phosphate using green synthesized iron oxide nanoparticles dispersed onto zeolite. In: Science of the Total Environment vol. 703 (2020)

ZHANG, S.; DU, Q.; SUN, Y.; SONG, J.; YANG, F.; TSANG, D.C.W.: Fabrication of L-cysteine stabilized $\alpha\text{-FeOOH}$ nanocomposite on porous hydrophilic biochar as an effective adsorbent for Pb^{2+} removal. In: Science of the Total Environment vol. 720 (2020)

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Operacionalización de variables

Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio						
Tipo de Variable	Variabes	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala/ Unidad
Variable Independiente	Uso de nanopartículas de óxido de hierro	Las nanopartículas son, partículas microscópicas con un tamaño que varía Entre 1 y 100 nanómetros. Los óxidos de hierro son compuestos químicos formados por hierro y oxígeno.	Se estudió las características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro. Asimismo, se identificó en qué condiciones operacionales fue sometido el proceso de adsorción de los metales.	Características fisicoquímicas del óxido de hierro	Tamaño de partícula	nm
					Densidad	g/cm ³
					Punto de fusión	°C
					Capacidad de adsorción	%
				Condiciones operacionales	pH	1-14
					Dosis	g/l
					Temperatura	°C
					Tiempo	h
Variable Dependiente	Tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio	El tratamiento de aguas Contaminadas con metales es el proceso mediante el cual, con la tecnología adecuada y los procedimientos aptos, se purifica el agua eliminando sus contaminantes y dejándola apta para los procesos que se requieran, en muchos casos para el consumo humano.	Se analizaron los parámetros fisicoquímicos de las aguas contaminadas y se determinó el porcentaje de adsorción de los metales en estudio (plomo y mercurio), analizando las condiciones iniciales y finales y para ello se utilizó la siguiente formula: $\%R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$ %R: Porcentaje de adsorción Ci: Concentración inicial Cf: Concentración final	Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas	Procedencia de la muestra	-
					pH	1-14
					Temperatura	°C
				Porcentaje de adsorción de plomo y mercurio	Concentración adsorbida del plomo	mg/L
					Concentración adsorbida del mercurio	

Anexo 02: Instrumentos de validación

Ficha 1. Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro

Título	Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.
Línea de investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
Responsables	Chavarria Campomanes, Carlos Payajo caldas, Lizeth Fiorella
Asesor	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto

Ítems	Tamaño de partícula (nm)	Densidad (g/cm3)	Punto de fusión (°C)	Capacidad de adsorción (%)	Autores


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Atentamente,

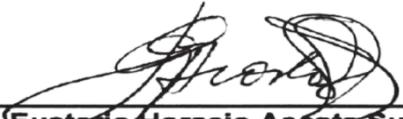
Juan Julio Oñederra Galvez
 DNI: 08447308

Ficha 2. Condiciones operacionales de aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro en el proceso de adsorción de los metales

Título	Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.
Línea de investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
Responsables	Chavarria Campomanes, Carlos Payajo caldas, Lizeth Fiorella
Asesor	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto

Ítems	pH (1-14)	Dosis (g/l)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Observaciones	Autores


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

Ficha 3. Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas

Título	Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.
Línea de investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
Responsables	Chavarria Campomanes, Carlos Payajo caldas, Lizeth Fiorella
Asesor	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto

Procedencia de la muestra	pH (1-14)	Temperatura (°C)	Concentración de los metales (mg/l)		Autores
			Plomo	Mercurio	


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP. N° 25450

Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

Ficha 4. Porcentaje de adsorción de los metales

Título Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio.

Línea de investigación Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Responsables Chavarria Campomanes, Carlos
Payajo caldas, Lizeth Fiorella

Asesor Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto

Metal (plomo/mercurio)	Concentración inicial (mg/l)		Tiempo de contacto (h)	Concentración Final (mg/l)		Porcentaje de Adsorción (mg/l)
	Plomo	Mercurio		Plomo	Mercurio	


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Atentamente,

Juan Julio O'Donnell Galvez
 DNI: 08447308

Anexo 03: Validación de instrumentos

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

-

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Condiciones operacionales de aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro en el proceso de adsorción de los metales**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
 El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarría Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e investigador /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Porcentaje de adsorción de los metales**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

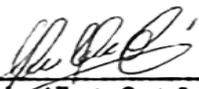
OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
 El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

II. DATOS GENERALES

- 2.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- 2.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 2.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- 2.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro**
- 2.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

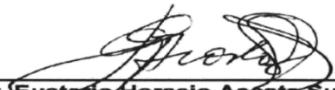
IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

V. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Condiciones operacionales de aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro en el proceso de adsorción de los metales**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarría Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 14 de junio del 2021


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP. N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 14 de junio del 2021


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente /UCV Campus Los Olivos
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniería química y Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Porcentaje de adsorción de los metales
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													x	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													x	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													x	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													x	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													x	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													x	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													x	

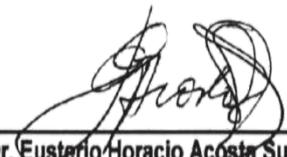
III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP. N° 25450

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Recursos hídricos y Medio ambiente**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las nanopartículas de óxido de hierro**
 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	0	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

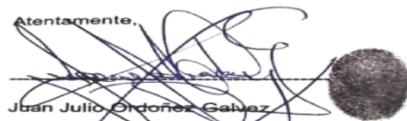
III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente /UCV Campus Los Olivos
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Recursos hídricos y Medio ambiente
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Condiciones operacionales de aplicación de las nanopartículas de óxido de hierro en el proceso de adsorción de los metales
 1.5. **Autor(A) de Instrumento:** Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Recursos hídricos y Medio ambiente**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características fisicoquímicas de las aguas contaminadas**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													x	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													x	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													x	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													x	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													x	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													x	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													x	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,



Juan Julio Ordoñez Gálvez
DNI: 08447308

Lima, 14 de junio del 2021

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Recursos hídricos y Medio ambiente**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Porcentaje de adsorción de los metales**
 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Chavarria Campomanes, Carlos/Payajo Caldas, Lizeth Fiorella**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 14 de junio del 2021

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308