Problemas ambientales y de salud pública

El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua

Jhoel Huaranccay Quispe
Antonio Manuel Otoya Zelada
Guillermo David Evangelista Benites
Natalia Del Pilar Díaz Díaz

Religación
Press

Colección Estudios Ambientales

Problemas ambientales y de salud pública

El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua

Jhoel Huaranccay Quispe
Antonio Manuel Otoya Zelada
Guillermo David Evangelista Benites
Natalia Del Pilar Díaz Díaz

Religación **P**ress

Environmental studies Collection

Environmental and public health issues

The role of activated carbon filters in the protection of water bodies

Jhoel Huaranccay Quispe
Antonio Manuel Otoya Zelada
Guillermo David Evangelista Benites
Natalia Del Pilar Díaz Díaz

Religación **P**ress

Religación **P**ress

Equipo Editorial / Editorial team
Eduardo Díaz R. Editor Jefe
Roberto Simbaña Q. | Director Editorial / Editorial Director |
Felipe Carrión | Director de Comunicación / Scientific Communication Director |
Ana Benalcázar | Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator|
Ana Wagner | Asistente Editorial / Editorial Assistant |

Consejo Editorial / Editorial Board
Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra | Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |
Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com
www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at | https://press.religacion.com

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

Problemas ambientales y de salud pública. El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua

Environmental and public health issues. The role of activated carbon filters in the protection of water bodies
Questões ambientais e de saúde pública. O papel dos filtros de carvão ativado na proteção de corpos d'água

Derechos de autor Copyright:	Religación Press© Jhoel Huaranccay Quispe©, Antonio Manuel Otoya Zelada©, Guillermo David Evangelista Benites©, Natalia Del Pilar Díaz Díaz©
Primera Edición: First Edition:	2024
Editorial: Publisher:	Religación Press
Materia Dewey: Dewey Subject:	660 - Ingeniería Química
Clasificación Thema: Thema Subject Categories	TT - Otras tecnologías y ciencias aplicadas
BISAC:	SCI013000 SCIENCE / Chemistry / General
Público objetivo: Target audience:	Presional / Académico
Colección: Collection:	Ingeniería Química
Soporte/Formato: Support/Format:	PDF / Digital
Publicación: Publication date:	2024-06-22
ISBN:	978-9942-664-02-0

Nota: el libro retoma y amplía, por un grupo de investigadores, lo mostrado en la tesis "Remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita, sector Santa Rosa quebrada Sacllani, Ayacucho, 2022" presentada ante la Universidad Nacional de Trujillo por Jhoel Huaranccay Quispe en 2022.

Note: the book takes up and expands, by a group of researchers, what was shown in the thesis "Remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita, sector Santa Rosa quebrada Sacllani, Ayacucho, 2022" presented to the Universidad Nacional de Trujillo by Jhoel Huaranccay Quispe in 2022.

APA 7

Huaranccay Quispe, J., Otoya Zelada, A. M., Evangelista Benites, G. D., y Díaz Díaz, N. del P. (2024). *Problemas ambientales y de salud pública. El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua*. Religación Press. https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.158

[Revisión por pares]

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos (doble-ciego). Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

[Peer Review]

This book was reviewed by an independent external reviewers (double-blind). Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.

Sobre los autores/ About the authors

Jhoel Huaranccay Quispe
Universidad Nacional De Trujillo | Trujillo | Perú
jhuaranccay@unitru.edu.pe
https://orcid.org/0009-0001-1832-4121
Ingeniero Ambiental con experiencia en estudios de impacto, monitoreo y evaluación ambiental.

[Environmental Engineer with experience in impact studies, monitoring and environmental assessment.]

Antonio Manuel Otoya Zelada
https://orcid.org/0000-0001-6460-969X
Universidad Nacional De Trujillo | Trujillo | Perú.
amotoyaz@unitru.edu.pe

Doctor en Ingeniería Química Ambiental. Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), área ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), área de Ingeniería Química.

[PhD in Environmental Chemical Engineering. Professional degree in Chemical Engineering, teaching experience at the Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), basic sciences area and at the Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Chemical Engineering area.]

Guillermo David Evangelista Benites
https://orcid.org/0000-0002-1955-6565
Universidad Nacional De Trujillo | Trujillo | Perú.
gevangelista@unitru.edu.pe

Especialista en métodos numéricos, transferencia de calor, mecánica de fluidos y simulación de procesos. Doctor en Ciencias e Ingeniería. Miembro de RENACYT.

[Specialist in numerical methods, heat transfer, fluid mechanics and process simulation. PhD in Science and Engineering. Member of RENACYT.]

Natalia Del Pilar Díaz Díaz
https://orcid.org/0000-0002-6564-4128
Universidad Nacional De Trujillo | Trujillo | Perú.
ndiazd@unitru.edu.pe

Ingeniero Ambiental y Recursos naturales, Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, Doctor en Planificación y Gestión, Docente Auxiliar de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) Escuela de Ingeniería Ambiental.

[Environmental and Natural Resources Engineer, Master of Science in Environmental Management, PhD in Planning and Management, Assistant Professor at the Universidad Nacional de Trujillo (UNT) School of Environmental Engineering.]

Resumen

En la actualidad, muchos ríos presentan contaminación por diversos metales pesados, incluido el arsénico en distintas proporciones, lo que genera problemas ambientales y de salud pública. En el Perú, el consumo de agua con altas concentraciones de arsénico es un tema preocupante. Este estudio tiene como objetivo principal determinar la eliminación de arsénico, mediante filtros de carbón activado, del agua de la quebrada Saccllani en el departamento de Ayacucho. Se ha seguido un diseño experimental puro de pre y post prueba, empleando carbón activado y zeolita como adsorbentes en los filtros para eliminar el arsénico y determinar la granulometría más eficaz del agua del río. Para llevar a cabo la eliminación del arsénico, se utilizaron tres filtros de polietileno, el multiparámetro Hanna Edge para medir los parámetros físico-químicos, un espectrofotómetro para medir la demanda química de oxígeno y un oxímetro para medir la demanda biológica de oxígeno.
Palabras claves: Carbón activado granular, zeolita, estándares de calidad ambiental para agua.

Abstract

At present, many rivers are contaminated by various heavy metals, including arsenic in different proportions, which causes environmental and public health problems. In Peru, the consumption of water with high arsenic concentrations is a matter of concern. The main objective of this study is to determine the removal of arsenic, by means of activated carbon filters, from the water of the Saccllani stream in the department of Ayacucho. A pure pre- and post-test experimental design has been followed, using activated carbon and zeolite as adsorbents in the filters to remove arsenic and to determine the most effective particle size of the river water. To carry out the arsenic removal, three polyethylene filters, the Hanna Edge multiparameter to measure the physicochemical parameters, a spectrophotometer to measure the chemical oxygen demand and an oximeter to measure the biological oxygen demand were used.
Keywords: Granular activated carbon, zeolite, environmental quality standards for water.

Resumo

Atualmente, muitos rios estão contaminados por vários metais pesados, incluindo o arsênio em diferentes proporções, o que gera problemas ambientais e de saúde pública. No Peru, o consumo de água com altas concentrações de arsênico é uma questão preocupante. O principal objetivo deste estudo é determinar a remoção de arsênico, por meio de filtros de carvão ativado, da água do córrego Saccllani, no departamento de Ayacucho. Foi seguido um projeto experimental puro de pré e pós-teste, usando carvão ativado e zeólita como adsorventes nos filtros para remover arsênico e determinar o tamanho de partícula mais eficaz da água do rio. Três filtros de polietileno, um multiparâmetro Hanna Edge para medir parâmetros físico-químicos, um espectrofotômetro para medir a demanda química de oxigênio e um oxímetro para medir a demanda biológica de oxigênio foram usados para realizar a remoção de arsênico.

Palavras-chave: carvão ativado granular, zeólita, padrões de qualidade ambiental para água.

Contenido

[Peer Review] 6
Sobre los autores/ About the authors 8
Resumen 10
Abstract 10
Resumo 11
Introducción 18

Capítulo 1 **21**
Antecedentes de campo 21
Antecedentes específico internacionales 22
Antecedentes específicos nacionales 23
Antecedentes específicos regionales 25

Capítulo 2 **29**
Datos cualitativos 29
Clasificación de los adsorbentes 31
Factores importantes en la adsorción 34
Carbón activado 34
Activación del carbón activado 36
Propiedades fisicoquímicas del carbón activado 37
Estructura porosa 38
Estructura cristalina 39
Composición química 40
Clasificación de carbón activado 41
Carbón Activado en Polvo (PAC) 41
Carbón Activado Granular (GAC) 42
Zeolita 43
Metales pesados 45
Problemática 46
Objetivos específicos 46
Elementos generales 47

Capítulo 3 **50**
Investigación científica 50
Diseño factorial 51
Variable independiente 54
Variable dependiente 54
Santa Rosa de la quebrada Saccllani 55
Trabajos de gabinete 56

Diseño de filtros de carbón activado granular y zeolita 58
Trabajos de campo Armado de los filtros de carbón activado granular y zeolita 58
Obtención de agua de la quebrada Saccllani 59
Experimentación 59
Procesamiento de datos 60
Estimación de la capacidad de remoción 61

Capítulo 4 **63**
Producto 63
Arsénico 65
Plomo 68
Calidad de agua en el sector San Rosa de la quebrada Saccllani 70
Arsénico 73
Plomo 74
Diseño de filtros de carbón activado granular y zeolita 76
Porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado 78
Arsénico 79
Plomo 84
Comparación de los resultados obtenidos del análisis de arsénico y plomo 89
Arsénico 89
Plomo 93

Capítulo 5 **99**
Efecto 99
Resultados en comparación a los filtros de carbón activado de la corteza de papa en aguas de mina. 100
Resultados en comparación al resultado del porcentaje de bioadsorción de arsénico en agua potable 100
Resultados en comparación al monitoreo realizado por la Autoridad Nacional del Agua 101
Conclusiones 102
Recomendaciones 105

Referencias

Tablas

Tabla 1. Mecanismos 31
Tabla 2. Clasificación 33
Tabla 3. Clases de compuestos orgánicos adsorbidos en carbón activado. 35
Tabla 4. Propiedades básicas 37
Tabla 5. Clasificación de poro. 38
Tabla 6. Principales usos, ventajas y desventajas de los PAC y GAC. 43
Tabla 7. Diseño factorial 23 52
Tabla 8. Combinación de factores de Diseño factorial 23 52
Tabla 9. Diseño factorial para el trabajo de investigación 53
Tabla 10. Operacionalización de Variables. 54
Tabla 11. Resultados obtenidos de laboratorio. 64
Tabla 12. Promedio de remoción de As. 65
Tabla 13. Promedio de remoción de Pb. 68
Tabla 14. Resultados para los parámetros de As y Pb en mg/L de la quebrada Saccllani en el sector San Rosa – Categoría 1. 72
Tabla 15. Resultados para los parámetros de As y Pb en mg/L de la quebrada Saccllani en el sector San Rosa – Categoría 3. 72
Tabla 16. Datos organizados de porcentaje de remoción de arsénico 80
Tabla 17. Análisis de varianza del porcentaje de remoción de arsénico. 81
Tabla 18. Datos organizados de porcentaje de remoción de plomo 85
Tabla 19. Análisis de varianza del porcentaje de remoción de plomo. 86
Tabla 20. Organización de los resultados obtenidos del laboratorio para el arsénico. 90
Tabla 21. Promedio de las concentraciones de arsénico según el tipo de filtro. 91
Tabla 22. Organización de los resultados obtenidos del laboratorio para el plomo. 94
Tabla 23. Promedio de las concentraciones de plomo según el tipo de filtro. 95

Figuras

Gráfico 1. Esquema de mecanismo de adsorción. 30
Gráfico 2. Esquema de componentes porosos de la partícula de carbón activado. 39
Gráfico 3. Grupos superficiales típicos contenidos en el carbón activado 41
Gráfico 4. Promedio de remoción del As. 66
Gráfico 5. Porcentaje de remoción del As, considerando tipo de material adsorbente. 67
Gráfico 6. Promedio de remoción del Pb. 69
Gráfico 7. Porcentaje de remoción del Pb, considerando tipo de material adsorbente. 70
Gráfico 8. Resultado de caracterización para el parámetro Arsénico – Categoría 3. 73
Gráfico 9. Resultado de caracterización para el parámetro Arsénico – Categoría 1. 74
Gráfico 10. Resultado de caracterización para el parámetro Plomo – Categoría 3. 75
Gráfico 11. Resultado de caracterización para el parámetro Plomo – Categoría 1. 75
Gráfico 12. Diseño del filtro, nivel 2. 78
Gráfico 13. Efectos principales 83
Gráfico 14. Matriz de interacción 84
Gráfico 15. Efectos principales 88
Gráfico 16. Matriz de interacción 88
Gráfico 17. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 3. 92
Gráfico 18. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 1. 93
Gráfico 19. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 3. 96
Gráfico 10. Comparación de los valores de arsénico después de l os procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 1. 97

Problemas ambientales y de salud pública

El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua

Introducción

La principal fuente de metales pesados radica en las actividades industriales realizadas por el hombre, los cuales afectan de manera considerable la vida humana, los animales, las plantas, las fuentes hídricas y los suelos; en general, toda la cadena trófica debido a la descarga de dichos metales pesados al ambiente (Pabón Guerrero et al., 2020).

La calidad del río Pampas y sus afluentes han sido alteradas producto de las actividades mineras desarrolladas en la cuenca alta, los resultados del Monitoreo de la Calidad de agua, realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en el año 2018, determinan que se encuentran por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); encontrando metales pesados, tales como arsénico, boro, litio y magnesio; para la estación de monitoreo QSacc2, que corresponde a la quebrada Saccllani; poniendo en riesgo la salud de las personas y de la calidad ambiental y del río Mishca. Aguas abajo de la minera Catalina Huanca, antes de tributar al río Mishca.

Esta investigación, permitirá caracterizar, analizar y determinar el porcentaje de remoción de arsénico y plomo de las aguas en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, utilizando filtros de carbón activado granular y zeolita, considerados como materiales adsorbentes.

Los resultados de monitoreo de la calidad de agua de la quebrada Saccllani, servirán como línea de base ambiental para futuras estrategias de prevención, para salvaguardar la salud de las personas que hacen uso del recurso para el riego de sus vegetales, así como del ganado vacuno que utilizan estas aguas como bebedero.

Capítulo 1
Antecedentes de campo

Antecedentes específicos internacionales

A continuación, describimos investigaciones desarrolladas a nivel internacional:

Méndez de los Santos & López Ocaña (2021), en su investigación denominada "Zeolitas nativas en el tratamiento de agua residual doméstica", emplearon zeolitas de río y de cerro a fin de evaluar su potencial en el tratamiento de aguas residuales. Concluyendo que, las zeolitas nativas de cerro y de río deben ser implementados en tratamiento de aguas residuales domésticas, puesto son eficientes en la remoción de contaminantes.

Rojas Cerda (2020), en su investigación "Valoración de la eficiencia de remoción de arsénico en agua con carbón activado de jícaro sabanero (C*rescentia alata*) y su combinación con óxidos de hierro", evaluó la eficiencia de remoción del arsénico haciendo uso de dos medios absorbentes: carbón activado artesanal y óxido de hierro. Concluyendo, mayor remoción del arsénico fueron por el tratamiento secuencial óxido de hierro y carbón activado artesanal de 0.6 mm y tiempo de contacto de 6 h (54, 50 y 58 %).

Moreno Balseca & Palacios Cabrera (2017), en su investigación denominada "Tratamiento de drenaje ácido de mina con el uso de zeolita natural a escala experimental", el cual consistió en la aplicación de zeolita natural como un medio filtrante, para cuatro mediciones de metales pesados (Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Mn y Cd). Concluyendo que, la eficiencia de remoción fue Al (97.81 %), Fe

(99.79 %), Cu (91.42 %), Pb (91.42 %), Zn (99.84 %), Mn (96.14 %) y Cd (88.54 %).

Bangoura et al. (2023), en su investigación denominada "ensayo de tratamiento de aguas residuales por doble filtración sobre carbón activado granular (GAC) preparada a partir de cáscaras de maní·, determinó que los GAC fueron muy efectivo en el tratamiento de la turbidez oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, hierro, DQO y DBO, siendo mejores resultados con nitritos, nitratos y fosfatos; sin embargo, la segunda filtración fue la más eficiente.

Ankrah et al. (2022), en su investigación denominada "Eliminación de metales pesados de soluciones acuosas utilizando zeolita NaP1 derivada de cenizas volantes", evaluaron las eficiencias de adsorción de uno o varios cationes de NaP1 derivado de cenizas volantes para la eliminación de Zn, Cu y Pb; concluyeron que la eliminación de plomo fue la más alta (96 %) entre los metales probados en experimentos.

Antecedentes específicos nacionales

Chiclote Gonzales (2018), en su investigación "Mejora de la calidad del agua del río cumbe empleando filtro de carbón activado", tuvo como objetivo, determinar la calidad del agua del río Cumbe usando un filtro de carbón activado, obteniendo resultado que la turbidez tuvo una disminución de 5.61 NTU hasta 1.16 NTU (Filtro A) y 0.72 (Filtro B), pH variable en rango de 7.86 y 8.28,

los coliformes de 9,200.00 NMP/100 ml hasta 9.20 (Filtro A) y 110 (Filtro B), coliformes termotolerantes de 49 NMP/100 ml hasta 9.2 (Filtro A) y 12 (Filtro B).

Infante Chipile (2018), en su investigación denominada "Carbón activo granular, en la mejora de la calidad del agua potable", tuvo como objetivo, determinar el efecto del carbón activado granular, en la limpieza del agua potable proveniente de manantiales de sistema de agua potable ubicados en el caserío Maraynillo, obteniendo resultado, donde la turbidez baja en 2.54 %, pH a 25° C, aumenta hasta un 159.58 %, coliformes totales baja al valor de 100% a 29.11 % en la primera semana.

Chaupis Cadillo & Reyes Javier (2018), en su investigación denominada "Remoción de arsénico de las aguas de san mateo de Huanchor–Lima con zeolitas naturales", tuvo como objetivo, determinar la capacidad de las zeolitas naturales para remover arsénico de las aguas contaminadas, obteniendo resultado que la capacidad de adsorción, en pruebas en lote, fue de 1.668 mg de Arsénico por gramo de Zeolita; además, el arsénico removido del agua superficial de San Mateo de Huanchor a flujo continuo fue del 93.75 %.

Mariela & Yantas (2020), en su investigación denominada "Adsorción de plomo (II) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus) en la laguna Huascacocha, Yauli, Junín – 2020", utilizó carbón activado a partir de semillas de

eucalipto; obteniendo resultados favorables de remoción de 95.79 %, 96.84 % y 90.53 % respectivamente para plomo (II).

De et al. (2021), en su investigación denominada "Potencial de remoción de la zeolita natural peruana en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo", determinó el potencial de remoción de la zeolita natural de la zona de Yura – Arequipa Perú, en aguas contaminadas con plomo; concluyendo que la capacidad de adsorción es de 3.55 mg Pb^{2+}/gramo de zeolita; siendo el pH de remoción 5 y un potencial de remoción del 98 %.

Antecedentes específicos regionales

Caruajulca Vásquez (2022), en su investigación denominada "Influencia del tiempo de contacto del carbón activado en la remoción de cromo VI en aguas residuales de curtiembres: Trujillo", tuvo como objetivo evaluar la influencia del tiempo de contacto del carbón activado en la remoción de cromo VI presente en vertidos de curtiembres de la ciudad de Trujillo; concluyendo, que el tiempo óptimo de contacto es de 30 min, habiendo absorbido 94.93 % de cromo VI.

Alfaro Raggio & Gamboa Zavala (2019), en su investigación denominada "Tiempo de contacto y masa de zeolita natural en la adsorción de cromo total de efluentes de la curtiembre cuenca", tuvo como objetivo determinar en qué medida influye el tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural (C*linoptilolita*) en la adsorción

de Cromo Total de efluentes de la Curtiembre Cuenca S.A.C; concluyendo que el tiempo de contacto y masa de zeolita, incluyen en la adsorción de Cromo Total del efluentes de la Curtiembre Cuenca.

Quiroz Soriano & Sánchez Arteaga (2018), en su investigación denominada "Efecto del peso y granulometría del carbón activado de coronta de *Zea mays* en la adsorción de cromo del efluente de curtido–curtiembre Cuenca, Trujillo", tuvo como objetivo determinar el efecto del peso y la granulometría de carbón activado de coronta de *Zea mays* en la adsorción de cromo del efluente de la etapa de curtido en la curtiembre Cuenca; concluyendo que, se logró la capacidad de adsorción de 77.50 % de cromo total utilizando carbón activado de *Zea mays*, ello se logró con 1.5 g y una granulometría # 60 de carbón activado de coronta de *Zea mays*.

Rivas Sánchez & Chuquipoma Távara (2017), en su investigación denominada "Remoción de cromo (VI) usando zeolita tipo clinoptilolita modificada con fierro (II), en soluciones sintéticas", estudiaron el comportamiento de adsorción del Cr (VI) en zeolitas naturales clinoptilolita, de malla 1.0 – 2.0 mm, acondicionada con NaCl (1 M) y modificada con Fe (II) (0.5 M); concluyendo que la capacidad de remoción de Cr (VI) de la zeolita clinoptilolita modificada con Fe (II) es de 0.34 mg/g.

Viera Moreno (2019), en su investigación denominada "Influencia de la temperatura de impregnación del azufre sobre carbón activado de *Persea american* en la adsorción de plomo hierro y cadmio en soluciones acuosas", estudió el efecto de la temperatura de

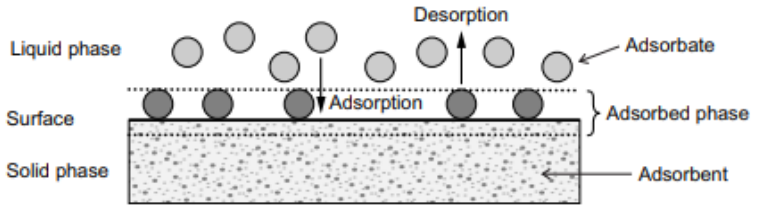
impregnación de azufre sobe el carbón activado producido a partir de la pepa de palta, para adsorber Pb^{+2}, Fe^{+2} y Cd^{+2} presentes en soluciones acuosas; determinando que el carbón activado impregnado con mayor eficiencia fue para el plomo a una temperatura de 400 ºC.

Capítulo 2
Datos cualitativos

Fenómeno de adsorción

La adsorción se refiere a una operación de transferencia de masa en la que las sustancias de una fase líquida se acumulan en una fase sólida, eliminándose así del líquido (Crittenden et al., s.f.). Al modificar las propiedades de la fase líquida (como la concentración, la temperatura y el pH), los compuestos adsorbidos pueden liberarse de la superficie y volver a la fase líquida. Este proceso opuesto se conoce como desorción (Worch, 2021).

Gráfico 1. Esquema de mecanismo de adsorción.



Fuente: Worch, 2021.

Aquel constituyente que se adsorbe sobre una superficie es denominado como adsorbato, y el sólido sobre el que se adsorbe el constituyente se denomina adsorbente. Durante el fenómeno de adsorción, las especies disueltas se transportan al gránulo del adsorbente sólido poroso por difusión y luego se adsorben en la extensa superficie interna del adsorbente. Las especies disueltas se concentran en la superficie sólida por reacción química (quimisorción) o atracción física (adsorción física) (Crittenden et al., n.d.) .

Estos mecanismos físicos de adsorción y quimisorción, se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Mecanismos

Parámetros	Adsorción Física	Quimisorción
Uso para tratamiento de agua	Tipo más común de mecanismo de adsorción	Raro en el tratamiento de agua
Velocidad de proceso	Limitado por transferencia de masa	Variable
Tipo de vinculación	Mecanismos de unión no específicos como fuerzas de Van der Waals, condensación de vapor	Intercambio específico de electrones, enlace químico en la superficie
Tipo de reacción	Reversible, exotérmico	Típicamente no reversible, exotérmico
Calor de adsorción	4 – 40 kJ/mol	> 200 kJ/mol

Fuente: Adaptado de Crittenden et al., n.d.

En ese sentido, la mayoría de las aplicaciones de tratamiento de agua implica adsorción física.

Clasificación de los adsorbentes

Según Dabrowski (2001), se propuso una clasificación de los adsorbentes de la siguiente manera:

- Adsorbentes de carbono (carbones activados, tamices de carbono moecular, fulleranos, materiales carbonosos)
- Adsorbentes minerales (alúmina activada, gel de sílice,

óxidos metálicos e hidróxidos, nanomateriales inorgánicos, zeolitas)

- Otros adsorbentes (polímeros sintéticos, adsorbentes compuestos, adsorbentes mixtos).

Existen tres tipos de adsorbentes comúnmente usados en el tratamiento del agua: zeolitas, adsorbentes poliméricos sintéticos y carbón activado. Los carbones activados suelen tener una amplia variedad de tamaños de poros para capturar moléculas orgánicas grandes, como material orgánico natural (NOM) y compuestos orgánicos sintéticos (SOC) como pesticidas, solventes y combustibles. En contraste, los adsorbentes poliméricos sintéticos están limitados a microporos y no pueden adsorber NOM. Las zeolitas, aluminosilicatos con diferentes proporciones de Al y Si, tienen poros muy pequeños que excluyen ciertos compuestos orgánicos sintéticos.

Los adsorbentes porosos pueden tener una gran área superficial interna (400.00 a 1,500.00 m2/g) y un volumen de poro (0.1 a 0.8 ml/g), lo que les permite una capacidad de adsorción de hasta 0.2 g de adsorbato por gramo de adsorbente, dependiendo de la concentración y tipo de adsorbato.

Considerando las distintas clasificaciones de adsorbentes, se describen a continuación los adsorbentes de carbono, nanoadsorbentes, híbridos inorgánicos–orgánicos, adsorbentes verdes y zeolitas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Clasificación

Adsorbentes		Descripción
Materiales a base de Carbón	Carbón activado	Los carbones activados son utilizados para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos de los recursos hídricos, son empleados en forma de polvo y granular. El carbón activado, son materiales carbonosos que se puede preparar a partir de desechos agrícolas, madera, fibra de coco, otros.
	Grafeno	Los grafenos, así como sus derivados, son considerados como materiales eficaces en la adsorción de algunos metales pesados en soluciones acuosas.
	Óxidos de grafeno	Es la forma oxidada del grafeno, la constitución del grafeno hace que sea hidrofóbica, y la alta densidad de carga negativa en su superficie favorece en la adsorción de contaminantes cargados positivamente del agua.
	Nanotubos de carbono	Los nanotubos de carbono (CNT), posee excelentes propiedades fisicoquímicas, como una alta superficie (150 – 1,500 m2/g), una estructura altamente porosa y hueca, un diámetro que oscila entre 1 nm y varios nanómetros, y una fuerte interacción con las moléculas contaminantes, lo que las convierte en un candidato ideal para la adsorción de contaminantes.
Nano–adsorbentes	Nano–adsorbentes a base de carbono	Son aquellos nanomateriales que contienen carbono, como el grafeno, óxido de grafeno, los nanotubos de carbono y los fulleranos.
	Óxido metálico nano – adsorbente	Los óxidos metálicos, desempeñan papel crucial, puesto que proporcionan una gran superficie para una mayor interacción con diversos tipos de contaminantes.
Híbridos inorgánicos – orgánicos	Son materiales adsorbentes que consiste en una red tridimensional que contiene ión metálico central o grupo y enlaces orgánicos conocidas como estructuras metal – orgánicas (MOF), estos materiales están siendo utilizadas para el los procesos de tratamiento de agua en las últimas décadas.	
Adsorbentes verdes	Los adsorbentes verdes, son los materiales que sintetizan de acuerdo a los principios de química verde. Hay varios tipos de componentes biológicos (bacterias, algas, hongos y plantas). Estos se aplican eficientemente en la eliminación de diversos iones metálicos de las corrientes de agua.	

Adsorbentes	Descripción
Zeolitas	Las zeolitas son consideradas como materiales de aluminosilicatos hidratados naturales cristalinos. Las zeolitas exhiben varias propiedades, como alta capacidad de intercambio iónico, alta porosidad, alta capacidad de sorción. Además, son fáciles de manejar y permiten aplicaciones rentables a gran escala. Estas propiedades llevaron a explotar zeolitas para el tratamiento de agua cargada de metales pesados.

Fuente: Adaptado de Gusain & Bux, n.d.

Factores importantes en la adsorción

Los factores considerados importantes que influyen en el número de sitios de adsorción y en la accesibilidad de dichos sitios para los adsorbatos son el área superficial y el tamaño de los poros. Existe una relación inversa entre el tamaño de los poros y el área superficial: a menor tamaño de poro para un volumen determinado, mayor es el área de superficie disponible para la adsorción (Crittenden et al., s.f.).

Carbón activado

El carbón activado es un material de carbón poroso, es un carbón que ha sido sometido a una reacción con gases, a veces con la adición de productos químicos, por ejemplo, cloruro de zinc ($ZnCl_2$) antes, durante y después de la carbonización para aumentar sus propiedades de adsorción (Fitzer et al., 1995).

Los carbones activados, tienen una gran capacidad de adsorción, preferentemente para moléculas pequeñas, y son utilizados para la

depuración de líquidos y gases. Al efectuar el proceso de carbonización y activación, se puede obtener una variedad de carbones activados que podrían tener diferente porosidad. Los carbones activados se utilizan principalmente en forma granular, denominado Carbón Activado Granular (GAC) y en polvo, Carbón Activado en Polvo (PAC) (Fitzer et al., 1995).

Una gran variedad de solutos orgánicos (Tabla 2) se puede eliminar del agua y las aguas residuales por adsorción en carbón activado, y algunos solutos inorgánicos (cloro, bromo, yodo, fluoruro, arsénico, mercurio, cobalto y circonio) (Cecen & Aktas, 2012).

Tabla 3. Clases de compuestos orgánicos adsorbidos en carbón activado.

Compuestos Orgánicos	**Ejemplos**
Aromáticos	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno
Aromáticos polinucleares	Naftaleno, antracenos, bifenilos
Aromáticos clorados	PCBs, clorobenceno, bifenilos policlorados
Fenoles	Fenol, cresol, clorofenoles, nitrofenoles
Hidrocarburos de alto peso molecular	Gasolina, kerosene
Alifáticos clorados	Tricloroetileno, tetracloruro de carbono
Ácidos alifáticos y aromáticos	Ácidos de alquitrán, ácidos benzoicos
Cetonas, ésteres, éteres y alcoholes	Hidroquinona, polietilglicol
Surfactantes	Alquilbenceno sulfonatos
Colorantes orgánicos solubles	Azul de metileno, carmín índigo
Pesticidas y herbicidas	DDT, aldrín, clordano, heptacloro, carbofurano, atrazina, simazina, alaclor y aldicarb

Fuente: Adaptado de Inglezakis & Poulopoulos, 2006.

Activación del carbón activado

El carbón se activa a partir de materiales carbonosos naturales, como el carbón, la turba y el coco, mediante varios procesos económicos (altas temperaturas ~ 800 ºC y vapor). El carbón activado está disponible esencialmente en dos rangos de tamaño de partículas: PAC (tamaño medio de partículas de 20 a 50 µm) y GAC (tamaño medio de partículas de 0.5 a 3.0 mm) (Crittenden et al., n.d.).

La activación del carbón activado es a través de la carbonización pirolítica de la materia prima y la activación posterior o paralela. La activación del carbón activado, se puede realizar mediante activación química o física. La activación química, se realiza en materias primas que contienen celulosa. Los carbones producidos con este método son de baja densidad y, sin un tratamiento especial, tienen una baja proporción de microporos, lo que los hace menos adecuados para su uso en la eliminación de microcontaminantes (Crittenden et al., n.d.).

Los carbones que se activan para el tratamiento de agua utilizan un proceso de activación térmica endotérmica que implica el contacto de un agente activador gaseoso, normalmente vapor, con el carbón a temperaturas elevadas, normalmente de 850 a 1000 ºC (Crittenden et al., n.d.).

En esa línea, el carbón activado se puede preparar de diversos materiales, como lignito, turba, carbón bituminoso, carbón vegetal,

madera y cáscara de coco, y se efectúa en tres pasos principales: (1) molienda, esta produce un tamaño de partícula específico; (2) carbonización, es el calentamiento de la materia prima en una atmósfera inerte; finalmente el (3) activación, es a través de una rección de oxidación, el gas oxidante puede ser vapor, dióxido de carbono u oxígeno.

En la tabla siguiente se presenta las propiedades básicas de los materiales utilizados para la fabricación de carbón activado.

Tabla 4. Propiedades básicas

Materia Prima	Carbón (Peso %)	Volátiles (Peso %)	Ceniza (Peso %)
Madera	40–45	55–60	0.3 – 1.1
Cáscaras de nueces	40–45	55–60	-
Lignito	- 70	25–40	5–6
Carbón	65–95	5–30	2–15
Coque de petróleo	70–85	15–20	0.5 – 0.7

Fuente: Adaptado de Inglezakis & Poulopoulos, 2006.

Propiedades fisicoquímicas del carbón activado

La capacidad de adsorción del carbón activado está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, los cuales incluyen la estructura porosa, estructura cristalina y composición química; los cuales se detallan a continuación:

Estructura porosa

La capacidad de adsorción del carbón activado depende principalmente de las características porosas, el área superficial, la distribución de tamaño de los poros y el volumen de los poros. La estructura porosa de los carbones activados, se forman durante el proceso de carbonización y se desarrolla aún más en el proceso de activación. Todos los carbones activados tienen diferentes estructuras porosas (Rajan et al., 2022).

En la tabla siguiente, se presenta el tipo de poro y su ancho respectivo.

Tabla 5. Clasificación de poro.

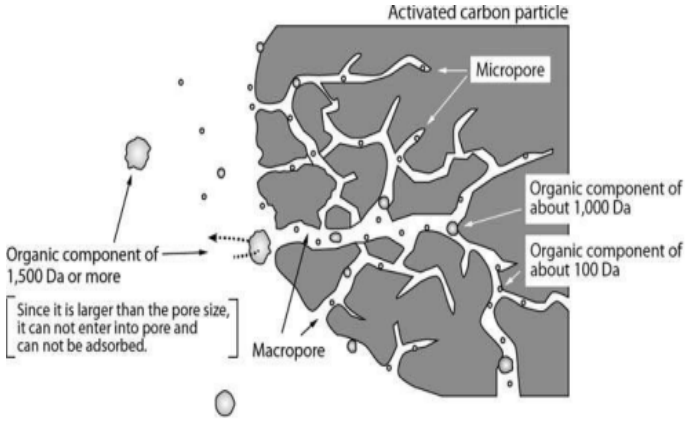
TIPO DE PORO	ANCHO (nm–nanómetro)
Microporo	< 2
Mesoporo	2 – 50
Macroporo	> 50

Fuente: Adaptado de Rajan et al. (2022).

El gráfico 2, es un esquema del componente poroso del carbón activado, donde componentes orgánicos de masa de 100 y 1,000 Da (dalton), son adsorbidos por los poros del carbón activado. Sin embargo, un componente que tiene una masa de 1,500 Da o más, no puede difundirse en los poros y, por lo tanto, no se puede realizar un proceso de adsorción.

Los macroporos son menos importantes para la adsorción. De lo contrario, es más probable que actúen como conductores que dirigen los adsorbatos hacia los micro y mesoporos (Jyothi & Parhi, 2021).

Gráfico 2. Esquema de componentes porosos de la partícula de carbón activado.



Fuente: Tambo & Ogasawara, n.d.

Estructura cristalina

La estructura del carbón activado es microcristalita, la cual se desarrolló durante el proceso de carbonización. Sin embargo, la estructura microcristalita del carbón activado difiere en comparación con el grafito. El espacio entre capas del grafito es de 0.335 nm, mientras que en el carbón activado el espacio entre capas es de 0,34 a 0,35 nm. (Bansal & Goyal, 2005).

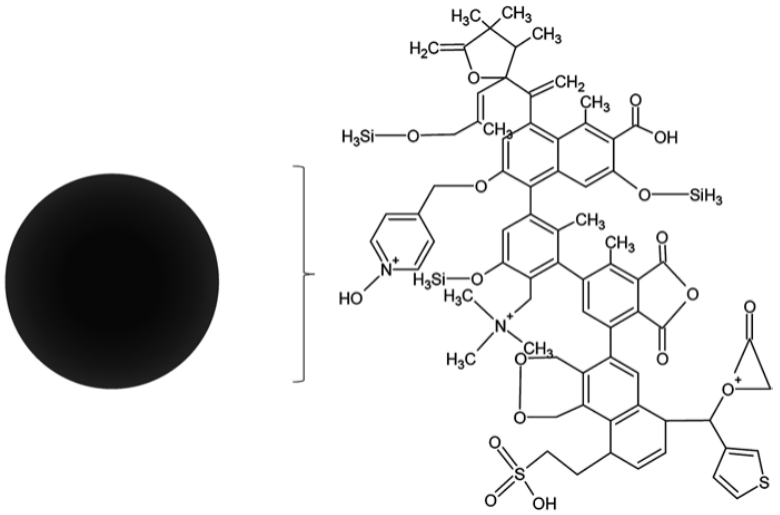
Según la capacidad grafitante de los carbones activados, se clasifican en dos tipos: carbones grafitantes y no grafitantes. Los carbones no grafitantes son de naturaleza dura. La fuerte reticulación entre cristalitos en carbones no grafitantes muestra una estructura de microporos bien desarrollada. Las formaciones de estructuras no grafitantes con fuertes reticulaciones son promovidas por la presencia de oxígeno asociado o por la insuficiencia de hidrógeno en la materia prima original (Rajan et al., 2022).

Composición química

El carbón activado contiene átomo de C que limita con átomos de O y H como -C-OH, -C=O, -C-O-, CO_3 y -CH. El carbón activado también puede asociarse con otros átomos de azufre, nitrógeno, alógenos y, a veces, con especies catiónicos de álcali, aminas, nitrobenceno, etc. En su superficie, que se derivan del precursor de carbono o se une/adsorben durante la preparación del carbón activado. Estos heteroátomos incorporados afectan las características y propiedades superficiales del carbón activado (Bansal & Goyal, 2005).

En el gráfico siguiente, se presenta a los grupos superficiales típicos contenidos en el carbón activado.

Gráfico 3. Grupos superficiales típicos contenidos en el carbón activado



Fuente: Jyothi & Parhi, 2021.

Clasificación de carbón activado

Los carbones activados, principalmente, pueden ser de dos formas, granular, denominado Carbón Activado Granular (GAC) y en polvo, Carbón Activado en Polvo (PAC).

Los cuales se describen a continuación:

Carbón Activado en Polvo (PAC)

El carbón activado en polvo (PAC) se utiliza principalmente en el tratamiento de sabor y olor y en tratamiento de bajas concentraciones

de pesticidas y otros microcontaminantes orgánicos. El PAC puede ser adicionado en (1) en la toma de agua sin tratar, (2) en el tanque de mezcla rápida y (3) en un contactor de lodos (Crittenden et al., n.d.).

Generalmente, los carbones activados se fabrican como polvos o gránulos finos de menos de 1.00 mm con un diámetro promedio de 0.15 y 0.25 mm. El PAC está compuesto de partículas trituradas, de las cuales el 95 al 100 % pasarán a través de un tamiz o tamiz de malla designado. El carbón activado granular (GAC) se define como el carbón que se retiene en un tamiz de malla 50 (0.297 mm) y el material PAC como el material más fino, considerados más pequeños que un tamiz de malla 80 (0.177 mm) (Kwiatkowski, n.d.).

Carbón Activado Granular (GAC)

El carbón activado granular (GAC) se utiliza principalmente para eliminación de trazas de contaminantes; el GAC puede ser utilizado como filtro y como adsorbedor en operaciones de filtración de reemplazo de arena (Crittenden et al., n.d.).

En la tabla siguiente se presenta acerca de los principales usos, ventajas y desventajas de los PAC y GAC.

Tabla 6. Principales usos, ventajas y desventajas de los PAC y GAC.

Parámetros	Carbón Activado Granular (GAC)	Carbón Activado En Polvo (PAC)
Principales usos	Control de compuestos orgánicos tóxicos presentes en las aguas subterráneas. Barreras a sustancias tóxicas en aguas superficiales y control de compuestos de sabor y olor.	Control estacional de compuestos de sabor y olor y pesticidas y herbicidas fuertemente adsorbidos a ba concentración (< 10 µg/L)
Ventajas	Fácilmente reactivo. Menor tasa de uso de carbono por volumen de agua tratada en comparación con PAC.	Se agrega fácilmente a tomas de agua existentes o instalaciones de coagulación para el control ocasional de compuestos orgánicos.
Desventajas	Los compuestos previamente adsorbidos pueden desorberse y, en algunos casos, aparecer en el efluente en concentraciones más altas que las presentes en el efluente.	Tasa de uso de carbón mucho más alta por volumen de agua tratada en comparación con GAC.

Fuente: Adaptado de (Crittenden et al., n.d.).

Zeolita

Las zeolitas son minerales de aluminosilicato altamente porosos y naturales con diferentes estructuras de cavidad, que también se pueden producir comercialmente. La estructura porosa de la zeolita puede acomodar varios cationes, incluidos sodio, potasio, calcio, iones de magnesio y otros. Estos iones cargados positivamente se mantienen sueltos en la estructura y se pueden intercambiar fácilmente con otros iones metálicos en solución y, por lo tanto, poseen capacidades de intercambio iónico. Las zeolitas consisten en más de 40 especies naturales, entre las cuales la clinoptilolita es la

más abundante y frecuentemente estudiada (Bonilla-Petriciolet et al., 2017).

Hay más de 40 zeolitas naturales. Además, hay más de 200 estructuras sintéticas (incluidos los materiales relacionados), que no aparecen en la naturaleza (Hattori & Ono, n.d.).

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos, naturales o más a menudo sintetizados bajo presión de agua autógena. La estructura de zeolita consiste en una red tridimensional ininterrumpida de tetraedros centrados en átomos de Si o Al y caracterizados por una relación molar [Al + Si]/O de 1:2. Estos silicatos tienen la siguiente fórmula general (Hamid & Ali, 2004):

$$M_V^{n+}(AlO_2)_x(SiO_2)_y.zH_2O$$

M^{n+} es un catión de valencia n y $v = x/n$

Las estructuras cristalinas de las zeolitas generan redes porosas formadas por canales y cavidades menores a 0.8 nm (Hamid & Ali, 2004).

Las zeolitas tienen las siguientes propiedades (Król, 2020):

- Baja densidad y gran volumen de espacios libres;
- Alto grado de cristalinidad;
- Posibilidad de adsorción de moléculas e iones;

- Capacidad de intercambio iónico;
- Propiedades catalíticas.

Las propiedades antes mencionadas, dan una idea de la gran importancia de las zeolitas en diversas aplicaciones, como:

Metales pesados

El término "metal pesado" se refiere a cualquier metal y elemento metaloide que tiene una densidad relativamente alta que oscila entre 3.5 y 7 g/cm^3 y es tóxico o venenoso a bajas concentraciones, e incluye mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), zinc (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu) y plomo (Pb). Aunque «metales pesados» es un término general definido en la literatura, está ampliamente documentado y se aplica con frecuencia a los contaminantes generalizados de los suelos y las corrientes de agua (Duffus, 2002). Estos metales se encuentran ampliamente en la corteza terrestre y no son biodegradables por naturaleza. Entran en el cuerpo humano a través del aire, el agua y los alimentos. Un pequeño número tiene un papel esencial en el metabolismo de humanos y animales en cantidades muy pequeñas, pero su mayor concentración puede causar toxicidad y riesgos para la salud. La naturaleza peligrosa de los metales pesados ha sido reconocida debido a su naturaleza bioacumulativa en los sistemas bióticos. Pueden ingresar al medio ambiente a través de actividades mineras, descargas industriales y de aplicaciones domésticas, en cuerpos de agua cercanos (Sharma, n.d.).

Problemática

¿El porcentaje de remoción de arsénico y plomo en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, usando filtros de carbón activado granular y zeolita será suficiente para cumplir los estándares nacionales de calidad de agua?

Hipótesis nula (Ho). El porcentaje de remoción de arsénico y plomo, será suficiente para cumplir los estándares nacionales de calidad de agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, usando filtros de carbón activado granular y zeolita.

Hipótesis alternativa (H1). El porcentaje de remoción de arsénico y plomo, no será suficiente para cumplir los estándares nacionales de calidad de agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, usando filtros de carbón activado granular y zeolita.

Objetivo general. Determinar el porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

Objetivos específicos

- Determinar la calidad de agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, para los parámetros de arsénico y plomo, tomando como referencia los estándares nacionales de calidad de agua.

- Diseñar filtros de carbón activado granular y zeolita para obtener el porcentaje de remoción de arsénico y plomo en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

- Determinar el volumen de muestra, cantidad y los tipos de filtros óptimos para el cálculo de porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

- Comparar los resultados obtenidos en los análisis de arsénico y plomo a los efluentes de los filtros de carbón activado granular y zeolita diseñados, con los estándares nacional de calidad del agua.

Elementos generales

La principal fuente de metales pesados radica en las actividades industriales realizadas por el hombre, los cuales afectan de manera considerable la vida humana, los animales, las plantas, las fuentes hídricas y los suelos; en general, toda la cadena trófica debido a la descarga de dichos metales pesados al ambiente (Pabón Guerrero et al., 2020).

La calidad del río Pampas y sus afluentes han sido alteradas producto de las actividades mineras desarrolladas en la cuenca alta, los resultados del Monitoreo de la Calidad de agua, realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el año 2018, determinan que se encuentran por encima de los Estándares de Calidad Ambiental

para Agua de Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); encontrando metales pesados, tales como arsénico, boro, litio y magnesio; para la estación de monitoreo QSacc2, que corresponde a la quebrada Saccllani; poniendo en riesgo la salud de las personas y de la calidad ambiental y del río Mishca. Aguas abajo de la minera Catalina Huanca, antes de tributar al río Mishca.

Esta investigación, permite caracterizar, analizar y determinar el porcentaje de remoción de arsénico y plomo de las aguas en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, utilizando filtros de carbón activado granular y zeolita, considerados como materiales adsorbentes.

Los resultados de monitoreo de la calidad de agua de la quebrada Saccllani, servirán como línea de base ambiental para futuras estrategias de prevención, para salvaguardar la salud de las personas que hacen uso del recurso para el riego de sus vegetales, así como del ganado vacuno que utilizan estas aguas como bebedero.

Capítulo 3
Investigación científica

La presente investigación se realizó en el distrito de Canaria, perteneciente a la provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho. Lugar dónde se ubica la Quebrada Saccllani en el sector Santa Rosa, específicamente aguas abajo de la Unidad Minera Catalina Huanca.

Diseño factorial

El tipo de diseño de la presente investigación es experimental, debido a que existirá manipulación de forma intencional de una a más variables independientes, en consecuencia, que dicha manipulación tiene efecto sobre una o más variables dependiente (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Para la presente investigación, se adoptó el diseño experimental factorial 2^3, en vista que se estudió el efecto de los tres factores (tipos de filtro, cantidad óptima y volumen de muestra) en los dos niveles.

El número de experimentos a adoptar, es mediante la siguiente ecuación:

$$N = 2^K$$

Donde: N es número de experimento y K número de parámetros.

Entonces, haciendo el remplazo con los factores, se obtuvo 8 números de experimentos o tratamiento.

$$N = 2^K = 2^3 = 8 \text{ experimentos}$$

Se presenta el siguiente la siguiente tabla con su respectivo experimento.

Tabla 7. Diseño factorial 2^3

Nº	VOLUMEN DE MUESTRA	CANTIDAD	TIPOS DE FILTRO	VARIABLE RESPUESTA (%)
	X1	X2	X3	Y
1	-	-	-	
2	+	-	-	
3	-	+	-	
4	+	+	-	
5	-	-	+	
6	+	-	+	
7	-	+	+	
8	+	+	+	

Fuente: Adaptado de Douglas, 2002.

Tabla 8. Combinación de factores de Diseño factorial 2^3

Nº	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipos De Filtro	Variable Respuesta (%)
	X1	X2	X3	Y
1	- (3 l)	- (300 g)	- (C.A)	
2	+ (6 l)	- (300 g)	- (C. A)	
3	- (3 l)	+ (600 g)	- (C. A)	
4	+ (6 l)	+ (600 g)	- (C. A)	
5	- (3 l)	- (300 g)	+ (Zeo)	
6	+ (6 l)	- (300 g)	+ (Zeo	
7	- (3 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	
8	+ (6 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	

Fuente: Adaptado de Douglas, 2002.

Simbología: C.A: Carbón Activado Granular, Zeo: Zeolita.

En la siguiente tabla se presente el diseño de experimentación para el presente trabajo de investigación:

Tabla 9. Diseño factorial para el trabajo de investigación

Volumen De Muestra	Cantidad	Tipos De Filtro	Concent. Inicial (As – Pb) (Mg/L)	Concent. Final (As – Pb) (Mg/L)		
				R1	R2	Rp
V1 (3 l)	300 g	Carbón Activado Granular				
		Zeolita				
	600 g	Carbón Activado Granular				
		Zeolita				
V2 (6 l)	300 g	Carbón Activado Granular				
		Zeolita				
	600 g	Carbón Activado Granular				
		Zeolita				

Fuente: Elaboración propia.

El tipo de investigación es cuantitativa, en vista de que, parte de una idea, de los cuales generan objetivos, de estas se derivan hipótesis y determinan y definen variables, se analizan y vinculan las mediciones obtenidas, y se extraen una serie de conclusiones respecto de las hipótesis (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Variable independiente

- Tipos de filtro (carbón activado granular y zeolita)
- Cantidad de carbón activado granular y zeolita (300 g, 600 g)
- Volumen de muestra (3 l, 6 l)

Variable dependiente

Remoción de arsénico y plomo del agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

Tabla 10. Operacionalización de Variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala De Medición
Independientes Aplicación de Zeolita y Carbón Activado Granular	Tipos de filtro	Más óptimo Menos óptimo	Escala ordinal
	Cantidad de zeolita y carbón activado granular	300 g 600 g	Escala de razón
	Volumen de muestra	3 l 6 l	Escala de razón
Dependiente Remoción de arsénico y plomo del agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani	Concentración de arsénico y plomo	Ar (mg/l) Pb (mg/l)	Escala de razón

Fuente: Elaboración propia.

Santa Rosa de la quebrada Saccllani

Se tomó 80.0 litros de agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, específicamente, aguas abajo de la minera Catalina Huanca.

La muestra es no probabilística, por conveniencia.

Para la muestra del agua superficial en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, se consideró el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, la cual fue aprobada mediante Resolución Jefatural Nº010-2016-ANA.

Según lo mencionado, se consideró una muestra compuesta, una mezcla homogenizada colectadas en un periodo de tiempo, el cual se detalla a continuación:

- El agua se colectó de la quebrada Saccllani, mediante jarras en horarios de 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas, los cuales fueron almacenadas en un recipiente principal de capacidad de 80.0 litros. De esta mezcla homogénea se tomó una muestra para determinar la concentración de arsénico y plomo al inicio (previo a la experimentación).

- Una vez homogenizada, del recipiente principal se vertieron en 4 recipientes de 3 litros y 6 litros para resultado 1 (R1), respectivamente; del mismo modo se realizó para el resultado 2 (R2).

En total, para la experimentación se colectó 16 muestras, y 1 para el estado inicial.

Trabajos de gabinete

Determinación de la zona de estudio. La zona de estudio, se encuentra en el distrito de Canaria, perteneciente a la provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho. Lugar dónde se ubica la Quebrada Saccllani en el sector Santa Rosa, específicamente aguas debajo de la Unidad Minera Catalina Huanca.

Obtención del carbón activado granular y zeolita. El carbón activado granular y zeolita, se obtuvieron previa cotización de proveedores de la ciudad de Lima, con destino a la ciudad de Ayacucho. En ese sentido, la empresa proveedora de dichos materiales fue Oregon Chem Group S.A.C.

Obtención del recipiente principal para el almacenamiento de agua. Para el almacenamiento de agua en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, se requirió de un recipiente de 80 litros.

Determinación de caudal de salida de los recipientes hacia los filtros. Se determinó el caudal de salida de los recipientes, los cuales se destinará hacia los filtros.

Los goteros que se utilizaron, son denominados goteros autocompensables de un caudal aproximado.

Para cada recipiente se utilizaron seis goteros, siendo el caudal de salida de cada recipiente, lo siguiente:

$Q_{\text{Salida de Recipiente}}$:(6 goteros)*($Q_{\text{Cada Gotero}}$)

$Q_{\text{Salida de Recipiente}}$:(6 goteros)*(0.21 l/h)

$Q_{\text{Salida de Recipiente}}$: 1.26 l/h

Por lo que se determinó el Tiempo de Retención Hidráulica (TrH) para los recipientes de 3 litros y 6 litros, aplicando la siguiente fórmula:

$$TrH = \frac{V}{Q}$$

Para los recipientes de 3 litros:

$$TrH = \frac{3\ l}{1.26\ l/h}$$

$$TrH = 2.38\ h$$

Esto significa que el agua de la quebrada Saccllani (afluente) que entra en el recipiente de 3 litros, tarda 2.38 horas, equivalente a 2 h: 22: min:48 s, en salir por el efluente (los goteros).

En tanto, para los recipientes de 6 litros, el tiempo de retención fue la siguiente:

$$TrH = \frac{6\ l}{1.26\ l/h}$$

$$TrH = 4.76\ h$$

Diseño de filtros de carbón activado granular y zeolita

Se diseñó 8 filtros para R1 y 8 para R2, en total 16 filtros, tanto para carbón activado granular y zeolita, considerando las cantidades óptima de la misma (300 g y 600 g).

Los filtros, tanto de 300 g y 600 g, estaban compuestos por capas, de la siguiente manera:

- Carbón activado granular y/o zeolita: 300 g y 600 g
- Arena (0.5 mm): 500 g
- Piedra chancada (18 mm): 500 g
- Grava (8.00 mm): 500 g

Trabajos de campo Armado de los filtros de carbón activado granular y zeolita

Una vez diseñado los filtros con software, se procedió al armado, los cuales consistieron en los siguientes:

- El lugar de ejecución fue adecuado.
- Los materiales como la piedra chancada, gravilla, arena, carbón activado y zeolita fueron ponderados con una balanza, para luego ser colocados mediante capas en las jarras de 4 litros. En total se armaron 8 filtros para la

repetición 1 (R1) y otros 8 para repetición 2 (R2).

- Al costado de los filtros se colocó el recipiente principal de 80 litros.

- El armado del proceso de filtración fue por niveles, el primer nivel fue ocupado por los recipientes para almacenar el agua que filtró; en el segundo nivel se colocó a los filtros; en el tercer nivel se situaron a los recipientes de 3 litros y 6 litros, en donde se consignarán las aguas de la quebrada Saccllani, antes de los procesos de los filtros.

- En cada filtro se colocó la codificación respectiva.

Obtención de agua de la quebrada Saccllani

El agua se colectó de la quebrada Saccllani, mediante jarras en horarios de 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas, los cuales fueron almacenadas en el recipiente principal de capacidad de 80.0 litros.

Experimentación

Una vez instalado el proceso de los filtros, se procedió con la experimentación, los cuales consistieron en los siguientes:

- El agua colectada de la quebrada Saccllani, mediante jarras en horarios de 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas,

los cuales fueron almacenadas en el recipiente principal de capacidad de 80.0 litros. De esta mezcla homogénea se tomó una muestra para determinar la concentración de arsénico y plomo al inicio (previo a la experimentación).

- Una vez homogenizada, del recipiente principal se vertieron en 4 recipientes de 3 litros y 6 litros para resultado 1 (R1), respectivamente; del mismo modo se realizó para el resultado 2 (R2).

Una vez filtrado, en total, para la experimentación se colectó 16 muestras, y 1 para el estado inicial. Siendo en total 17 muestras que se enviaron al laboratorio SGS del Perú S.A.C., para su posterior análisis.

Procesamiento de datos

Análisis de muestra por laboratorio SGS del Perú S.A.C

Una vez colectados las 17 muestras, se enviaron al laboratorio SGS del Perú S.A.C, los cuales fueron analizados, y obtenidos los resultados.

Procesamiento de datos

Una vez obtenido los resultados, se realizó el procesamiento de datos, mediante técnicas de procesamiento.

Una vez tabulados los datos, se procedió con el software R Studio.

Se realizó el análisis de varianza ANOVA, aplicando la prueba de Duncan y/o Tukey.

Estimación de la capacidad de remoción

Obtenido la concentración del estado inicial, así como los resultados posteriores a la experimentación, se determinó el porcentaje de remoción, el cual se aplicó mediante la siguiente formula, adaptada del ensayo "EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Mass Apectrometry".

$$\% R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} x100$$

Donde: $\%R$ es porcentaje de remoción en (%); C_i concentración inicial de Ar y Pb en (mg/l) y C_f, concentración final de Ar y Pb en (mg/l).

Capítulo 4
Producto

Determinación del porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita en el sector San Rosa de la quebrada Saccllani.

Aplicando la siguiente fórmula se determinó el porcentaje de remoción:

$$\%R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} x100$$

Donde el $\%R$ es el porcentaje de remoción, C_i es la concentración inicial (antes de los filtros) en mg/L, y C_f es la concentración final (después de los filtros) en mg/L.

En la tabla siguiente se presente los resultados obtenidos del laboratorio, los cuales fueron utilizados para determinar el porcentaje de remoción:

Tabla 11. Resultados obtenidos de laboratorio.

Repeticiones	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	As (Mg/L)	Pb (Mg/L)
R1	3 L	300 g	C.A	0.0342	0.0006
			Zeo	0.0354	0.0006
		600 g	C.A	0.0353	0.0006
			Zeo	0.0373	0.0006
	6 L	300 g	C.A	0.0373	0.0006
			Zeo	0.0337	0.0020
		600 g	C.A	0.0349	0.0006
			Zeo	0.0345	0.0006

Repeticiones	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	As (Mg/L)	Pb (Mg/L)
R2	3 L	300 g	C.A	0.0359	0.0011
			Zeo	0.0356	0.0006
		600 g	C.A	0.0382	0.0006
			Zeo	0.0335	0.0006
	6 L	300 g	C.A	0.0376	0.0006
			Zeo	0.0353	0.0006
		600 g	C.A	0.0366	0.0007
			Zeo	0.0360	0.0006
Caracterización (antes del proceso de los filtros)				0.0536	0.0423

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. (Huaranccay Quispe, 2022).

Simbología: C.A: Carbón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Resultado 1, R2: Resultado 2.

Arsénico

Aplicando la fórmula anterior a los resultados obtenidos del laboratorio, se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 12. Promedio de remoción de As.

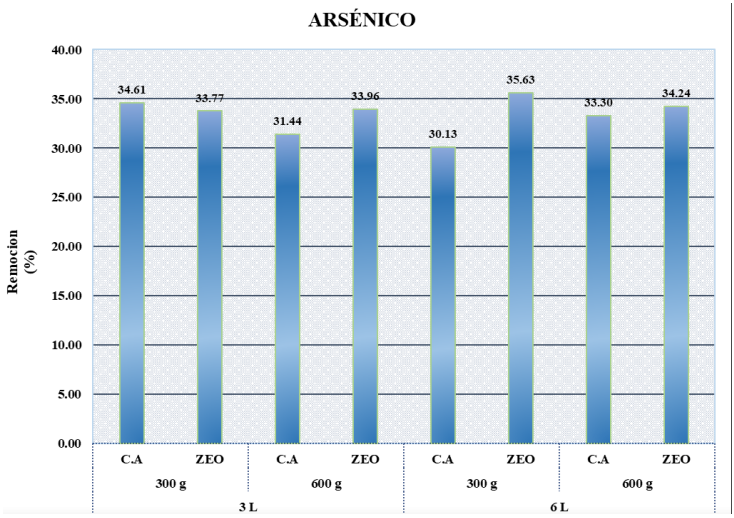
Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	R1	R2	Suma	Promedio
3 L	300 g	C.A	36.19	33.02	69.22	34.61
		ZEO	33.96	33.58	67.54	33.77
	600 g	C.A	34.14	28.73	62.87	31.44
		ZEO	30.41	37.50	67.91	33.96

Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	R1	R2	Suma	Promedio
6 L	300 g	C.A	30.41	29.85	60.26	30.13
		ZEO	37.13	34.14	71.27	35.63
	600 g	C.A	34.89	31.72	66.60	33.30
		ZEO	35.63	32.84	68.47	34.24

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. (Huaranccay Quispe, 2022).

De acuerdo a la tabla anterior, se puede apreciar una mayor remoción de arsénico (35.63 %) en filtro de zeolita de 300 g para volumen de muestra de 6 litros.

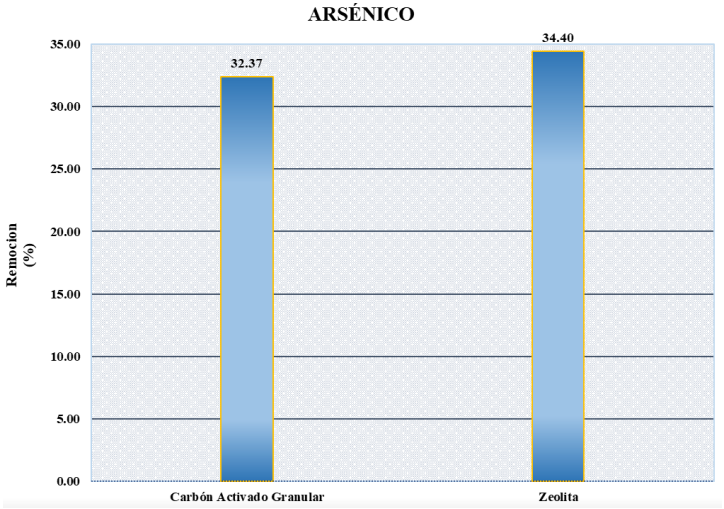
Gráfico 4. Promedio de remoción del As.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Finalmente, se puede indicar que el material más adsorbente del arsénico es la zeolita, es decir, se obtuvo un porcentaje de remoción de 34.40 % frente al carbón activado granular que es de 32.37 %. Tal como se aprecia en el siguiente gráfico.

Gráfico 5. Porcentaje de remoción del As, considerando tipo de material adsorbente.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Plomo

Aplicando la fórmula de remoción de los resultados obtenidos del laboratorio, se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 13. Promedio de remoción de Pb.

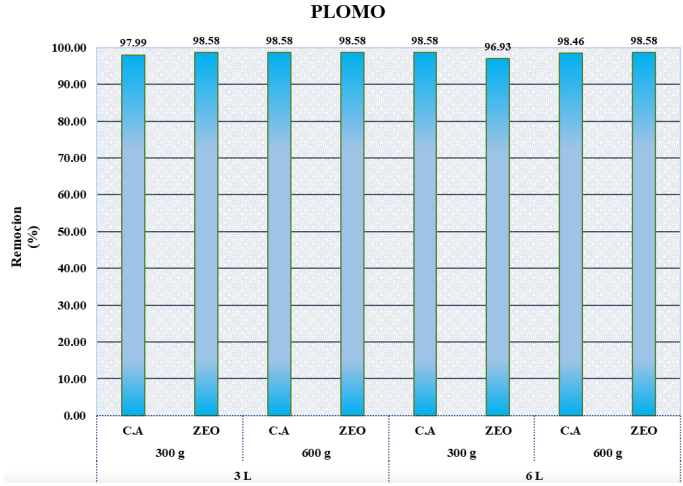
Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	R1	R2	Suma	Promedio
3 L	300 g	C.A	98.58	97.40	195.98	97.99
		Zeo	98.58	98.58	197.16	98.58
	600 g	C.A	98.58	98.58	197.16	98.58
		Zeo	98.58	98.58	197.16	98.58
6 L	300 g	C.A	98.58	98.58	197.16	98.58
		Zeo	95.27	98.58	193.85	96.93
	600 g	C.A	98.58	98.35	196.93	98.46
		Zeo	98.58	98.58	197.16	98.58

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. (Huaranccay Quispe, 2022).

Simbología: C.A: Carbón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Resultado 1, R2: Resultado 2.

De acuerdo a la tabla anterior, se puede apreciar una mayor remoción de plomo (98.58 %) en filtro de zeolita de 600 g para volumen de muestra de 6 litros.

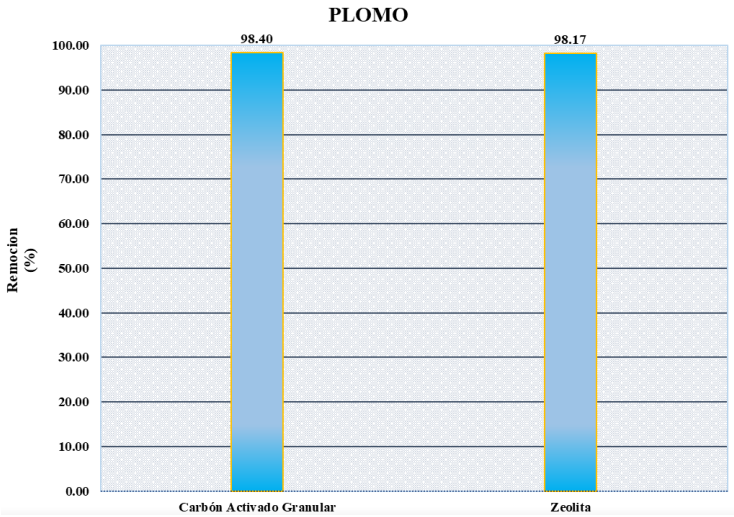
Gráfico 6. Promedio de remoción del Pb.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se puede indicar que el material más adsorbente del plomo es el carbón activado granular, es decir, se obtuvo un porcentaje de remoción de 98.40 % frente a la zeolita que es de 98.18 %. Tal como se aprecia en el siguiente gráfico.

Gráfico 7. Porcentaje de remoción del Pb, considerando tipo de material adsorbente.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Calidad de agua en el sector San Rosa de la quebrada Saccllani

Caracterización de la calidad de agua en el sector calidad de agua en el sector San Rosa de la quebrada Saccllani San Rosa de la quebrada Saccllani, para los parámetros de arsénico y plomo, en base a los estándares nacional de calidad del agua

Se efectuó la caracterización para los parámetros de arsénico y plomo en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani, en base a los estándares nacionales de calidad de agua en base a las categorías 1 (poblacional y recreacional) y 3 (riego de vegetales y bebida de animales), aprobado mediante el D.S. Nº 004-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos, muestran que el arsénico y plomo superan los ECA de agua de categoría 1; en tanto para la categoría 3, estas no superan.

La fecha de muestreo fue el 10/02/2023, y según la estacionalidad es en épocas de lluvia.

En ese sentido, la estacionalidad representa un papel muy importante en la calidad de agua; debido a que el agua de las lluvias conjuntamente con el tipo de suelo influye en la calidad del agua durante esta época (MINAM, 2019).

Los resultados se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 14. Resultados para los parámetros de As y Pb en mg/L de la quebrada Saccllani en el sector San Rosa – Categoría 1.

CARACTERIZACIÓN		ECA AGUA CATEGORÍA 1				
Parámetros	Resultado	Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario
Arsénico	0.0536	0.01	0.01	0.15	0.01	**
Plomo	0.0423	0.01	0.05	0.05	0.01	**

Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Tabla 15. Resultados para los parámetros de As y Pb en mg/L de la quebrada Saccllani en el sector San Rosa – Categoría 3.

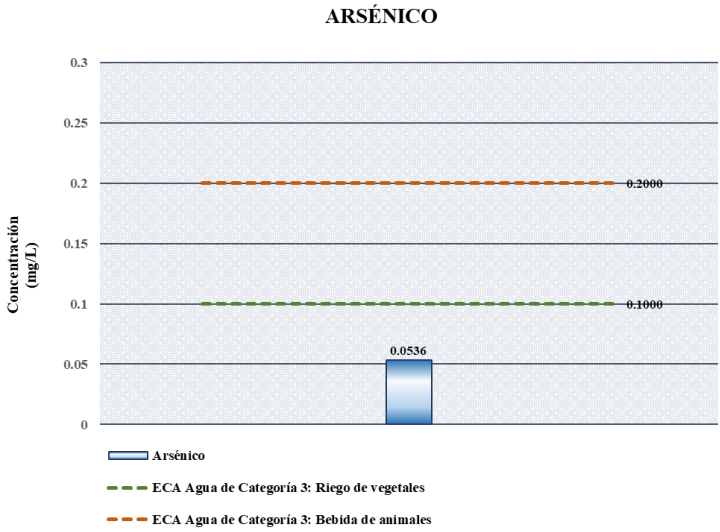
CARACTERIZACIÓN		ECA AGUA CATEGORÍA 3		
Parámetros	Resultado	Riego de vegetales		Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	
Arsénico	0.0536	0.10		0.20
Plomo	0.0423	0.05		0.05

Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Arsénico

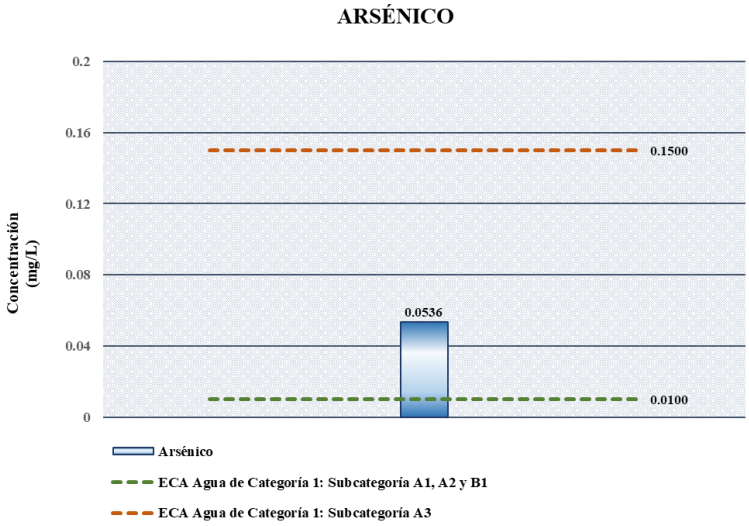
El valor obtenido para el arsénico es de 0.0536 mg/L, lo cual indica que se encuentra por debajo de los ECA agua de categoría 3; sin embargo, considerando la categoría 1, este resultado supera para las subcategorías A1, A2 y B1, a excepción de la subcategoría A3, tal como se aprecia en las siguientes figuras.

Gráfico 8. Resultado de caracterización para el parámetro Arsénico – Categoría 3.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Gráfico 9. Resultado de caracterización para el parámetro Arsénico – Categoría 1.

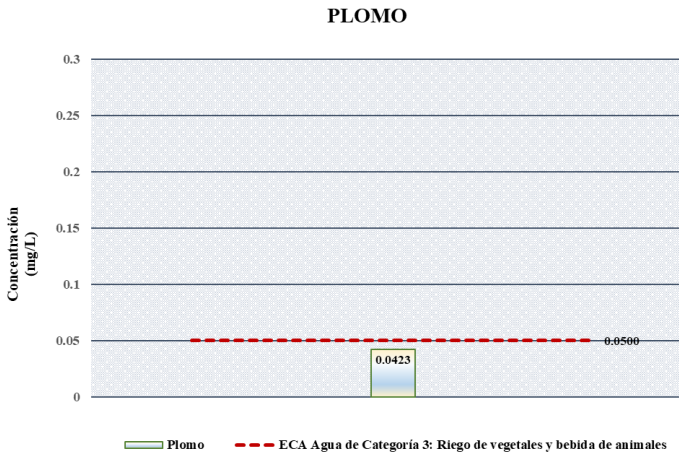


Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Plomo

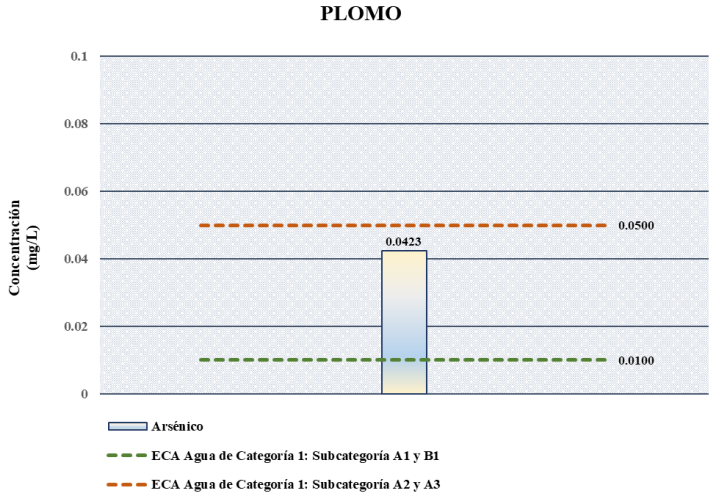
El valor obtenido para el plomo es de 0.0423 mg/L, lo cual indica que se encuentra por debajo de los ECA agua de categoría 3; sin embargo, considerando la categoría 1, este resultado supera para las subcategorías A1 y B1, a excepción de las subcategorías A2 y A3, tal como se aprecia en las siguientes figuras.

Gráfico 10. Resultado de caracterización para el parámetro Plomo – Categoría 3.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Gráfico 11. Resultado de caracterización para el parámetro Plomo – Categoría 1.



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Diseño de filtros de carbón activado granular y zeolita

Diseño de filtros de carbón activado granular y zeolita para el porcentaje de remoción de arsénico y plomo en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

Se diseñaron los filtros a base de materiales de piedra chancada, gravilla, arena, carbón activado y/o zeolita.

El proceso de filtración consistió en un recipiente principal de 80 litros de capacidad. Asimismo, los filtros fueron diseñados por niveles:

Primer nivel

Consistió en 8 recipientes de 3 litros y 8 recipiente de 6 litros, tanto para R1 y R2. En ella se almacenaron el agua producto de la filtración.

Segundo nivel

En total se armaron 16 filtros en recipientes de 4 litros (diámetro de 16.50 cm y altura de 26.0 cm), con sus respectivas codificaciones, las capas fueron conformadas de piedra chancada, gravillas, arena, carbón activado y/o zeolita; para cada filtro se consideró 8 capas; los cuales se detallan a continuación:

- Filtro con código, R1-3L (C.A-300 g), consistió en 500 g de piedra chancada (colocado en la base de la jarra), seguido de 500 g de gravilla, 500 g de arena, 300 g de carbón activado granular, 500 g de arena, 500 g de gravilla, finalmente 500 g de piedra chancada.

- Filtro con código, R1-3L (ZEO-300 g), consistió en 500 g de piedra chancada (colocado en la base de la jarra), seguido de 500 g de gravilla, 500 g de arena, 300 g de zeolita, 500 g de arena, 500 g de gravilla, finalmente 500 g de piedra chancada.

- Filtro con código, R1-3L (C.A-600 g), consistió en 500 g de piedra chancada (colocado en la base de la jarra), seguido de 500 g de gravilla, 500 g de arena, 600 g de carbón activado granular, 500 g de arena, 500 g de gravilla, finalmente 500 g de piedra chancada.

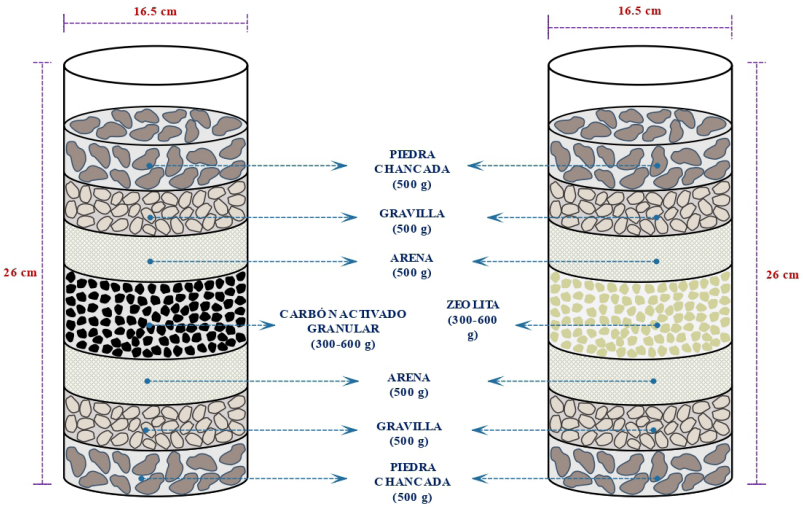
- Filtro con código, R1-3L (ZEO-600 g), consistió en 500 g de piedra chancada (colocado en la base de la jarra), seguido de 500 g de gravilla, 500 g de arena, 600 g de zeolita, 500 g de arena, 500 g de gravilla, finalmente 500 g de piedra chancada.

Los filtros restantes, se diseñaron según los señalado anteriormente.

Finalmente, en la base de cada filtro se hizo un agujero, para los efluentes producto del proceso de filtración.

Tercer nivel

Consistió en 8 recipientes de 3 litros y 8 recipiente de 6 litros,



Fuente: Huaranccay Quispe, 2022.

Porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado

Determinación del volumen de muestra, cantidad y tipos de filtro óptimo para el porcentaje de remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita en el sector Santa Rosa de la quebrada Saccllani.

Teniendo en consideración los resultados de laboratorio, se determinó el porcentaje de remoción, aplicando la siguiente fórmula:

$$\%R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} x100$$

Donde el es el porcentaje de remoción, es la concentración inicial (antes de los filtros) en mg/L, y es la concentración final (después de los filtros) en mg/L.

Estos valores de porcentaje de remoción fueron organizados en la matriz de diseño factorial 2^3 y se analizaron con el software RStudio 4.2.2, tal como se describe a continuación:

Arsénico

Los porcentajes de remoción para el arsénico, fueron organizados en la matriz de diseño factorial de acuerdo a los factores de volumen de muestra, cantidad óptima y tipos de filtros; y considerando las repeticiones, tal como se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 16. Datos organizados de porcentaje de remoción de arsénico

Nº	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipos De Filtro	Variable Respuesta (%)
	X1	X2	X3	Y
1	- (3 l)	- (300 g)	- (C.A)	36.1940 (R1)
2	+ (6 l)	- (300 g)	- (C. A)	33.9552 (R1)
3	- (3 l)	+ (600 g)	- (C. A)	34.1418 (R1)
4	+ (6 l)	+ (600 g)	- (C. A)	30.4104 (R1)
5	- (3 l)	- (300 g)	+ (Zeo)	30.4104 (R1)
6	+ (6 l)	- (300 g)	+ (Zeo	37.1269 (R1)
7	- (3 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	34.8881 (R1)
8	+ (6 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	35.6343 (R1)
9	- (3 l)	- (300 g)	- (C.A)	33.0224 (R2)
10	+ (6 l)	- (300 g)	- (C. A)	33.5821 (R2)
11	- (3 l)	+ (600 g)	- (C. A)	28.7313 (R2)
12	+ (6 l)	+ (600 g)	- (C. A)	37.5000 (R2)
13	- (3 l)	- (300 g)	+ (Zeo)	29.8507 (R2)
14	+ (6 l)	- (300 g)	+ (Zeo	34.1418 (R2)
15	- (3 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	31.7164 (R2)
16	+ (6 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	32.8358 (R2)

Fuente: Adaptado de (Douglas, 2002).

Simbología: C.A: Carbón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Resultado 1, R2: Resultado 2.

Una vez procesado con RStudio, se observa en la siguiente tabla el Análisis de Varianza (ANVA):

Tabla 17. Análisis de varianza del porcentaje de remoción de arsénico.

Origen	Suma De Cuadrados	Gl	Cuadrado Promedio	F	P
A: Factor Volumen de Muestra	16.47	1	16.466	2.255	0.172
B: Factor Cantidad Óptima	0.37	1	0.368	0.050	0.828
C: Factor Tipos de Filtro	0.05	1	0.054	0.007	0.933
A*B	0.37	1	0.368	0.050	0.828
A*C	5.66	1	5.658	0.775	0.404
B*C	5.66	1	5.658	0.775	0.404
A*B*C	15.72	1	15.718	2.152	0.181
Error	58.42	8	7.303		
Total	102.72	15			

Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. (Huaranccay Quispe, 2022).

Simbología: gl: grados de libertad, F: Factor, P: Significancia.

Según el análisis de varianza, donde se separa cada factor y sus respectivas interacciones, para el porcentaje de remoción del arsénico a fin de probar la significancia estadística del valor de P, donde debe ser menor a 0.05 ($P<0.05$), por lo que ningún efecto e interacción es menor a 0.05, de modo que son significativamente diferentes de cero y se deduce que el volumen de muestra (3 l, 6 l), cantidad óptima (300 g, 600 g) y tipos de filtro (C.A, ZEO) así como sus combinaciones no influye en la remoción del arsénico.

Si bien los factores analizados, así como las combinaciones no influyen en la remoción del arsénico, es necesario hacer un análisis

en las siguientes gráficas, en donde se puede apreciar una variación en el porcentaje de remoción de arsénico en base a los niveles de los factores principales; en donde el más significativo o más influyente es el volumen de muestra, esta es interpretada de la siguiente manera:

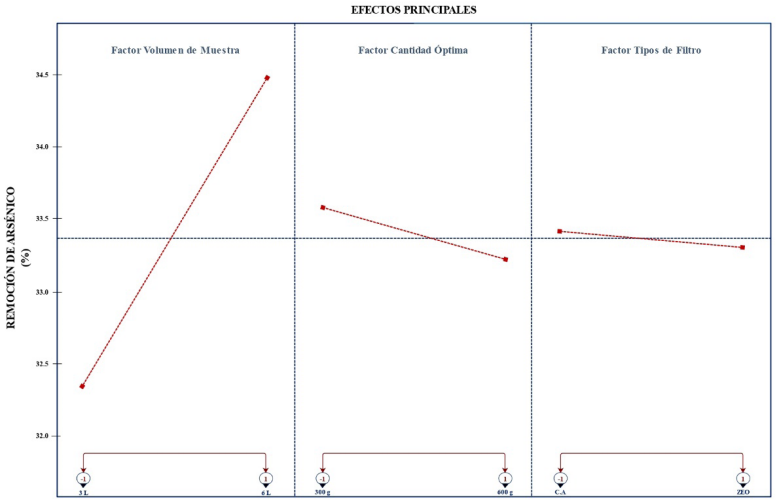
- En la gráfica de efectos individuales el factor volumen de muestra es de variación lineal con pendiente positiva sobre el porcentaje de remoción del arsénico. Es decir, en su nivel más bajo (3 l) hay un porcentaje de remoción aproximadamente de 32.5 %, en tanto se aumenta el volumen de muestra, al nivel más alto (6 l), hay un mayor porcentaje de remoción para el arsénico, aproximado de 34.5 %.

- En la gráfica de matriz de interacción, se puede ver un cierto grado de significancia al realizar las siguientes combinaciones; al mantener la cantidad óptima en su nivel bajo (300 g), y se cambia el factor volumen de su nivel bajo (3 l) al nivel alto (6 l), se evidencia un mayor porcentaje de remoción; de la misma manera en el tipo de filtro al mantener en el nivel de zeolita, y se cambia de mínimo a máximo el nivel del factor volumen, se evidencia un mayor porcentaje de remoción de arsénico.

- En tanto los factores cantidad óptima y tipos de filtros, no genera efectos significativos. Son de variaciones lineales y pendientes negativas.

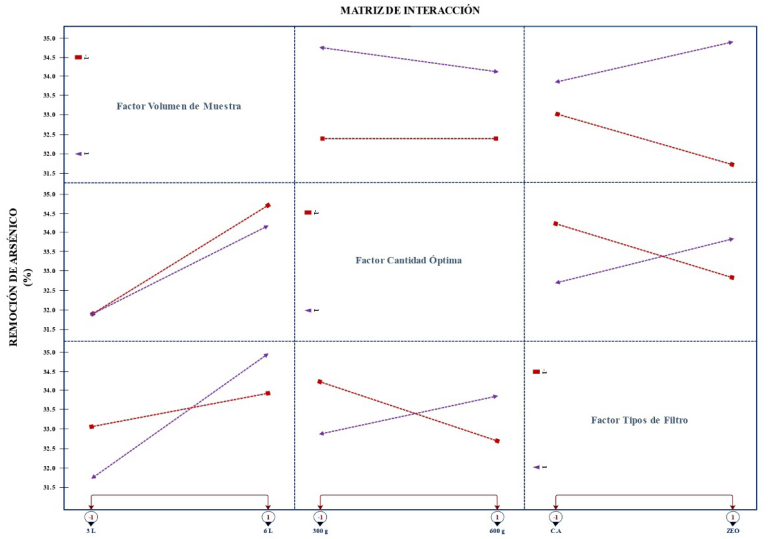
Lo mencionado se puede apreciar en los siguientes gráficos:

Gráfico 13. Efectos principales



Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. Huaranccay Quispe, 2022.

Gráfico 14. Matriz de interacción



Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. Huaranccay Quispe, 2022.

Plomo

Los porcentajes de remoción de plomo, fueron organizados en la matriz de diseño factorial de acuerdo a los factores de volumen de muestra, cantidad óptima y tipos de filtros; y considerando las repeticiones, tal como se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 18. Datos organizados de porcentaje de remoción de plomo

Nº	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipos De Filtro	Variable Respuesta (%)
	X1	X2	X3	Y
1	- (3 l)	- (300 g)	- (C.A)	98.5816 (R1)
2	+ (6 l)	- (300 g)	- (C. A)	98.5816 (R1)
3	- (3 l)	+ (600 g)	- (C. A)	98.5816 (R1)
4	+ (6 l)	+ (600 g)	- (C. A)	98.5816 (R1)
5	- (3 l)	- (300 g)	+ (Zeo)	98.5816 (R1)
6	+ (6 l)	- (300 g)	+ (Zeo	95.2719 (R1)
7	- (3 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	98.5816 (R1)
8	+ (6 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	98.5816 (R1)
9	- (3 l)	- (300 g)	- (C.A)	97.3995 (R2)
10	+ (6 l)	- (300 g)	- (C. A)	98.5816 (R2)
11	- (3 l)	+ (600 g)	- (C. A)	98.5816 (R2)
12	+ (6 l)	+ (600 g)	- (C. A)	98.5816 (R2)
13	- (3 l)	- (300 g)	+ (Zeo)	98.5816 (R2)
14	+ (6 l)	- (300 g)	+ (Zeo	98.5816 (R2)
15	- (3 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	98.3452 (R2)
16	+ (6 l)	+ (600 g)	+ (Zeo)	98.5816 (R2)

Fuente: Adaptado de (Douglas, 2002).

Simbología: C.A: Carbón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Resultado 1, R2: Resultado 2.

Una vez procesado con RStudio, se observa en la siguiente tabla el Análisis de Varianza (ANVA):

Tabla 19. Análisis de varianza del porcentaje de remoción de plomo.

ORIGEN	SUMA DE CUADRADOS	gl	CUADRADO PROMEDIO	F	P
A: Factor Volumen de Muestra	0.224	1	0.2236	0.288	0.606
B: Factor Cantidad Óptima	1.132	1	1.1317	1.459	0.262
C: Factor Tipos de Filtro	0.349	1	0.3493	0.450	0.521
A*B	0.349	1	0.3493	0.450	0.521
A*C	1.132	1	1.1317	1.459	0.262
B*C	0.224	1	0.2236	0.288	0.606
A*B*C	1.397	1	1.3972	1.802	0.216
Error	6.204	8	0.7754		
Total	11.011	15			

Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. Huaranccay Quispe, 2022.

Simbología: gl: grados de libertad, F: Factor, P: Significancia.

Según el análisis de varianza, donde se separa cada factor y sus respectivas interacciones, para el porcentaje de remoción del arsénico a fin de probar la significancia estadística del valor de P, donde debe ser menor a 0.05 ($P<0.05$), por lo que ningún efecto e interacción es menor a 0.05, de modo que son significativamente diferentes de cero y se deduce que el volumen de muestra (3 l, 6 l), cantidad óptima (300 g, 600 g) y tipos de filtro (C.A, ZEO) así como sus combinaciones no influye en la remoción del plomo.

Si bien los factores analizados, así como las combinaciones no influyeron en la remoción del plomo, es necesario hacer el análisis en las siguientes gráficas, en donde se puede apreciar una variación en el porcentaje de remoción de arsénico en base a los niveles de los factores principales; en donde el más significativo o más influyente es la cantidad óptima, esta es interpretada de la siguiente manera:

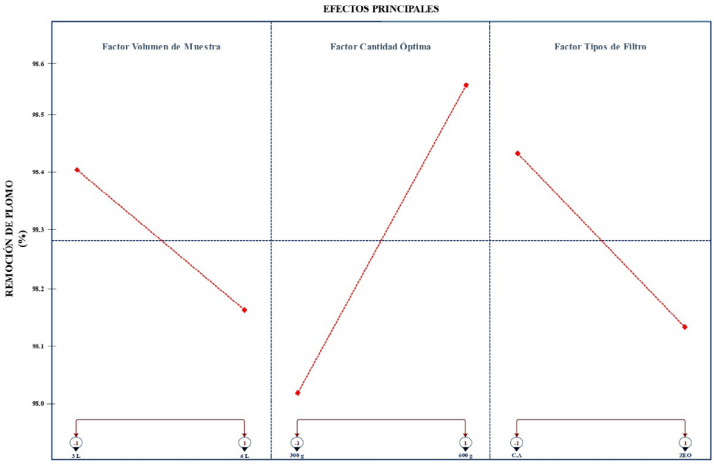
- En la gráfica de efectos individuales el factor cantidad óptima es de variación lineal con pendiente positiva sobre el porcentaje de remoción del plomo. Es decir, en su nivel más bajo (300 g) hay un porcentaje de remoción aproximadamente de 98.0 %, en tanto se aumenta la cantidad, al nivel más alto (600 g), hay un mayor porcentaje de remoción para el plomo, aproximado de 98.6 %.

- En la gráfica de matriz de interacción, se puede ver un cierto grado de significancia al realizar las siguientes combinaciones; al mantener el volumen de muestra en su nivel alto (6 l), y se cambia el factor cantidad óptima de su nivel bajo (300 g) al nivel alto (600 g), se evidencia un mayor porcentaje de remoción; de la misma manera en el tipo de filtro al mantener en el nivel de zeolita, y se cambia de mínimo a máximo el nivel del factor cantidad óptima, se evidencia un mayor porcentaje de remoción de plomo.

- En tanto los factores volumen de muestra y tipos de filtros, no genera efectos significativos. Son de variaciones lineales y pendientes negativas.

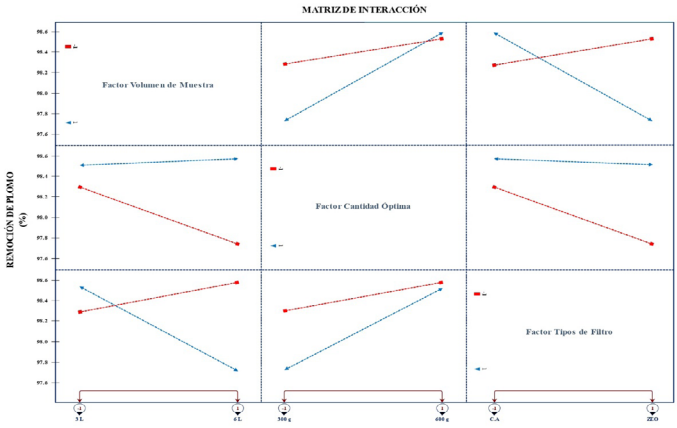
Lo mencionado se puede apreciar en los siguientes gráficos:

Gráfico 15. Efectos principales



Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. Huaranccay Quispe, 2022.

Gráfico 16. Matriz de interacción



Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio 4.2.2. Huaranccay Quispe, 2022.

Comparación de los resultados obtenidos del análisis de arsénico y plomo

Comparación de los resultados obtenidos del análisis de arsénico y plomo a los efluentes de los filtros de carbón activado granular y zeolita diseñados, con los estándares nacional de calidad del agua.

Los resultados obtenidos de los efluentes de los procesos de filtros de carbón activado granular y zeolita, fueron comparados con los estándares nacional de calidad de agua.

Arsénico

En la siguiente tabla se aprecia los resultados obtenidos del laboratorio, según el diseño experimental:

Tabla 20. Organización de los resultados obtenidos del laboratorio para el arsénico.

REPETICIONES	VOLUMEN DE MUESTRA	CANTIDAD	TIPO DE FILTRO	ARSÉNICO (mg/L)		PROMEDIO
				R1	R2	
R1	3 L	300 g	C.A	0.0342	0.0359	0.0351
			Zeo	0.0354	0.0356	0.0355
		600 g	C.A	0.0353	0.0382	0.0368
			Zeo	0.0373	0.0335	0.0354
	6 L	300 g	C.A	0.0373	0.0376	0.0375
			Zeo	0.0337	0.0353	0.0345
		600 g	C.A	0.0349	0.0366	0.0358
			Zeo	0.0345	0.0360	0.0353

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Simbología: C.A: Carón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Repetición 1.

Asimismo, en la tabla siguiente se presente el promedio de las concentraciones según el tipo de filtro y la combinación respectiva.

Tabla 21. Promedio de las concentraciones de arsénico según el tipo de filtro.

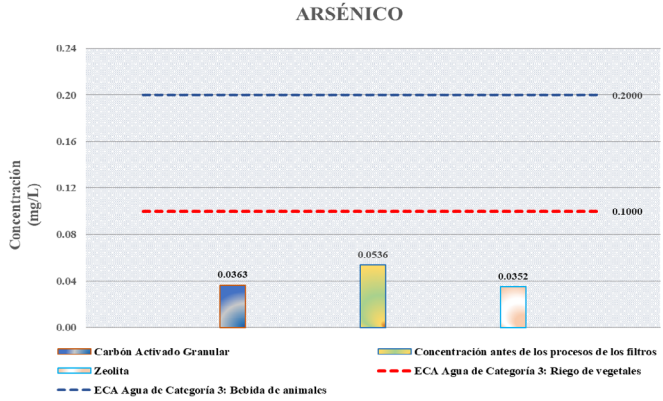
TIPO DE FILTRO	COMBINACIÓN				PROMEDIO
	3 L–300 g	3 L – 600 g	6 L – 300 g	6 L – 600 g	
Carbón Activado Granular	0.0351	0.0368	0.0375	0.0358	0.0363
Zeolita	0.0355	0.0354	0.0345	0.0353	0.0352

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

De la tabla anterior se puede indicar que hubo una ligera disminución del arsénico en comparación a la concentración inicial (0.0536 mg/L).

El valor inicial para el arsénico es de 0.0536 mg/L (antes de los procesos de los filtros), lo cual indica que se encuentra por debajo de los ECA de agua de categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); al aplicar el proceso de los filtros, se aprecia que hubo una ligera disminución en la concentración, donde se obtuvo valores de 0.0363 mg/L haciendo uso del carbón activado granular y 0.0352 mg/L con filtros de zeolita, tal como se aprecia en la siguiente figura:

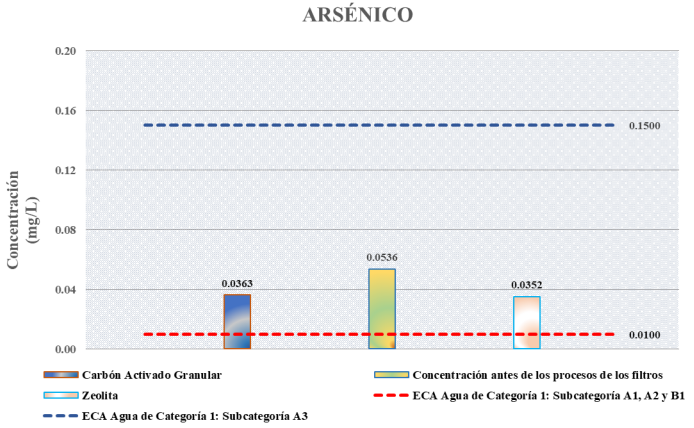
Gráfico 17. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 3.



Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Finalmente, en comparación con la categoría 1, la concentración inicial (antes de los procesos de los filtros) supera los ECA de agua categoría 1 para las sub categorías de A1, A2 y B1, a excepción de la subcategoría A3. Al aplicar la experimentación con filtro de carbón activado granular se obtuvo un valor de 0.0363 mg/L y con zeolita 0.0352 mg/L, los cuales disminuyeron ligeramente; sin embargo, estos resultados no son significantes, puesto que aún superan los ECA de agua de categoría 1, tal como se aprecia en el gráfico siguiente.

Gráfico 18. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 1.



Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Plomo

En la siguiente tabla se aprecia los resultados obtenidos del laboratorio, según el diseño experimental:

Tabla 22. Organización de los resultados obtenidos del laboratorio para el plomo.

Repeticiones	Volumen De Muestra	Cantidad	Tipo De Filtro	Arsénico (mg/L)		Promedio
				R1	R2	
R1	3 L	300 g	C.A	0.0006	0.0011	0.0009
			Zeo	0.0006	0.0006	0.0006
		600 g	C.A	0.0006	0.0006	0.0006
			Zeo	0.0006	0.0006	0.0006
	6 L	300 g	C.A	0.0006	0.0006	0.0006
			Zeo	0.0020	0.0006	0.0013
		600 g	C.A	0.0006	0.0007	0.0007
			Zeo	0.0006	0.0006	0.0006

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Simbología: C.A: Carón Activado Granular, Zeo: Zeolita, R1: Repetición 1.

Asimismo, en la tabla siguiente se presente el promedio de las concentraciones según el tipo de filtro y la combinación respectiva.

Tabla 23. Promedio de las concentraciones de plomo según el tipo de filtro.

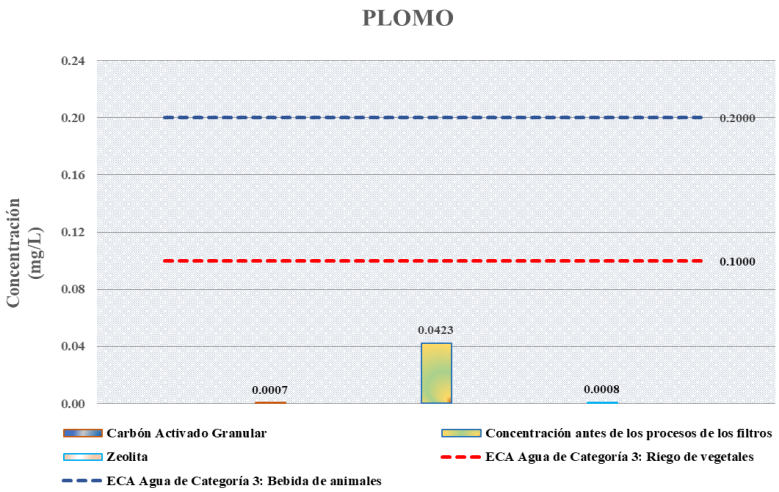
TIPO DE FILTRO	COMBINACIÓN				PROMEDIO
	3 L–300 g	3 L – 600 g	6 L – 300 g	6 L – 600 g	
Carbón Activado Granular	0.0009	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007
Zeolita	0.0006	0.0006	0.0013	0.0006	0.0008

Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

De la tabla anterior se puede indicar que hubo una disminución significativa de plomo en comparación a la concentración inicial (0.0423 mg/L).

El valor inicial para el plomo es de 0.0423 mg/L (antes de los procesos de los filtros), lo cual indica que se encuentra por debajo de los ECA de agua de categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); al aplicar el proceso de los filtros, se aprecia que hubo una disminución significativa en la concentración, donde se obtuvo valores de 0.0007 mg/L haciendo uso del carbón activado granular y 0.0008 mg/L con filtros de zeolita, tal como se aprecia en la siguiente figura:

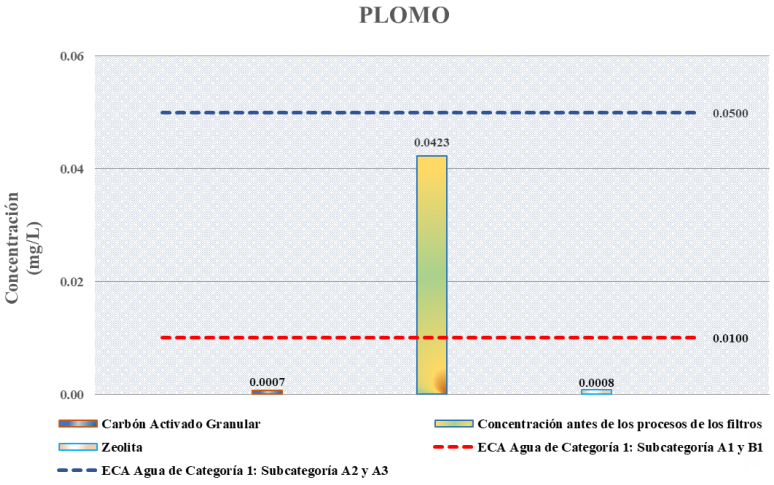
Gráfico 19. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 3.



Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Finalmente, en comparación con la categoría 1, la concentración inicial (antes de los procesos de los filtros) supera los ECA de agua categoría 1 para las sub categorías de A1 y B1, a excepción de la subcategoría A2 y A3. Al aplicar la experimentación con filtro de carbón activado granular se obtuvo un valor de 0.0007 mg/L y con zeolita 0.0008 mg/L, los cuales disminuyeron de manera significativa; siendo estos resultados muy significantes, puesto que los valores obtenidos se posicionaron por debajo de los ECA de agua de categoría 1, tal como se aprecia en el gráfico siguiente.

Gráfico 10. Comparación de los valores de arsénico después de los procesos de los filtros en base a los ECA de agua de Categoría 1.



Fuente: Elaboración propia en base al Laboratorio SGS del Perú S.A.C. Huaranccay Quispe, 2022.

Capítulo 5
Efecto

Resultados en comparación a los filtros de carbón activado de la corteza de papa en aguas de mina.

Borja Osorio (2019), en su investigación empleó el carbón activado de la corteza de papa como filtrante para el porcentaje de remoción de plomo y cadmio en aguas de mina; obteniendo una remoción de 82 % para el plomo y 24 % para el cadmio. En relación para la presente investigación, se utilizó el carbón activado granular y la zeolita como filtrantes para el porcentaje de remoción de arsénico y plomo en aguas superficiales, donde se obtuvo una remoción de arsénico de 32.37 % con filtros de carbón activado y 34.40 % con filtros de zeolita; asimismo, un porcentaje de remoción de plomo de 98.40 % con filtros de carbón activado granular y 98.17 % con filtros de zeolita. Los resultados obtenidos son ligeramente superiores para el porcentaje de remoción de plomo, en comparación a los filtros de carbón activado de la corteza de papa en aguas de mina.

Resultados en comparación al resultado del porcentaje de bioadsorción de arsénico en agua potable

Saldaña López (2020), en su investigación evaluó el porcentaje de bioadsorción del arsénico en agua potable utilizando cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis)* en polvo, obteniendo un 25 % de remoción de arsénico. Para el caso de la presente investigación, se utilizó carbón activado granular como medio filtrante para aguas superficiales, obteniendo una remoción de 32.37 % de arsénico; este resultado es ligeramente superior en comparación al resultado del porcentaje de bioadsorción de arsénico en agua potable.

Resultados en comparación al monitoreo realizado por la Autoridad Nacional del Agua

Según el informe de monitoreo de calidad de agua de (ANA, 2018), realizado en la quebrada Saccllani, aguas abajo de la unidad minera Catalina Huanca, antes de tributar al río Mishca, obtuvieron valores de 0.26744 mg/L de arsénico (As) y 0.0408 mg/L de plomo (Pb). En tanto, para la presente investigación, los resultados arrojaron valores de 0.0536 mg/L para arsénico y 0.0423 mg/L para el plomo, de la quebrada Saccllani, en el sector Santa Rosa, aguas debajo de la unidad minera Catalina Huanta. El resultado obtenido del arsénico es menor en comparación al monitoreo realizado por la Autoridad Nacional del Agua en el año 2018; en tanto para el plomo hay una ligera variación de 0.0015 mg/L.

Según Díaz Díaz (2020), evaluó la calidad de agua del río Quilish haciendo uso de filtro de carbón activado granular; donde diseñó el filtro en un tanque de HDPE con diámetro de 60.0 cm y una altura de 80.0 cm, la cual estuvo compuesto de grava de 3/4" y 1/4", arena de 2.00 mm y carbón activado granular de 0.60 – 0.70 mm. Mientras tanto, para la presente investigación se diseñó filtros en jarras de 4 litros, de diámetro de 16.50 cm y altura de 26.0 cm, conformado en capas de 500 g de piedra chancada, 500 g de gravilla, 500 g de arena y 300 – 600 g de carbón activado. La composición de los filtros en capas a base de piedra chancada, gravilla, arena y carbón activado granular, guarda relación con el filtro diseñado en tanque de HDPE.

Conclusiones

El porcentaje de remoción de arsénico y plomo de la quebrada Saccllani en el sector Santa Rosa haciendo uso de filtros de carbón activado granular y zeolita fue: Pb > Ar. Para el caso del arsénico hubo un mayor porcentaje de remoción (35.63 %) en filtro de 300 g para volumen de muestra de 6 litros; asimismo, el material más adsorbente del arsénico es la zeolita, es decir, se obtuvo un porcentaje de remoción de 34.40 % frente al carbón activado granular que es de 32.37 %. En tanto para el plomo, hubo un mayor porcentaje de remoción (98.58 %) en filtro de zeolita de 600 g para volumen de muestra de 6 litros; asimismo el material más adsorbente del plomo es el carbón activado granular, es decir, se obtuvo un porcentaje de remoción de 98.40 % frente a la zeolita que es de 98.18 %.

De acuerdo a la caracterización de la calidad de agua para los parámetros de arsénico y plomo, en la quebrada Saccllani en el sector Santa Rosa, se obtuvo un valor de 0.0536 mg/L para el arsénico, el cual indica que se encuentra por debajo de los ECA de agua de categoría 3; sin embargo, considerando la categoría 1, este resultado supera para las subcategorías A1, A2 y B1, a excepción de la subcategoría A3. Por otro lado, el valor obtenido para el plomo es de 0.0423 mg/L, lo cual indica que se encuentra por debajo de los ECA agua de categoría 3; sin embargo, considerando la categoría 1, este resultado supera para las subcategorías A1 y B1, a excepción de las subcategorías A2 y A3.

Los filtros de carbón activado granular y zeolita fueron diseñados en niveles: el nivel 1, consistió en 8 recipientes de 3 litros y 8 recipientes de 6 l; en ella se almacenaron efluente producto de la filtración. El nivel 2, se armaron 16 filtros en recipientes de 4 litros (diámetro de 16.50 cm y altura de 20.6 cm), los cuales fueron conformadas con capas de 500 g de piedra chancada, 500 g de gravilla, 500 g de arena y 500 – 600 g de carbón activado granular o zeolita, según el diseño experimental. El tercer nivel, consistió en 8 recipientes de 3 litros y 8 recipientes de 6 litros, en ella se almacenaron el afluente homogenizado en el recipiente principal, colectada de la quebrada Saccllani.

Realizado en análisis de varianza para cada factor y sus respectivas combinaciones, la prueba estadística de valor de P, arrojaron valores menores a 0.05 ($P<0.05$), por lo que ningún efecto o combinación es menor a 0.05, de modo que son significativamente diferentes de cero y se deduce que el volumen de muestra (3 l, 6 l), cantidad (300 g, 600 g) y tipos de filtro (C.A, ZEO) así como sus combinaciones no influye en la remoción del arsénico y plomo. Sin embargo, los efectos individuales del factor volumen de muestra es de variación lineal con pendiente positiva sobre el porcentaje de remoción del arsénico. Es decir, en su nivel más bajo (3 l) hay un porcentaje de remoción aproximadamente de 32.5 %, en tanto se aumenta el volumen de muestra, al nivel más alto (6 l), hay un mayor porcentaje de remoción para el arsénico, aproximado de 34.5 %. Por otro lado, para el porcentaje de remoción de plomo, el factor cantidad es de variación lineal con pendiente positiva sobre

el porcentaje de remoción del plomo. Es decir, en su nivel más bajo (300 g) hay un porcentaje de remoción aproximadamente de 98.0 %, en tanto se aumenta la cantidad, al nivel más alto (600 g), hay un mayor porcentaje de remoción, aproximado de 98.6 %.

El valor inicial para el arsénico fue de 0.0536 mg/L y 0.0352 mg/L para el plomo, en comparación con la categoría 3, estos valores se encuentran por debajo; en tanto para la categoría 1, la concentración de arsénico supera para las sub categorías A1, A2 y B1, a excepción de la subcategoría A3; y la concentración de plomo supera para las sub categorías de A1 y B1, excepto de la subcategoría A2 y A3. Al aplicar el proceso de los filtros, se aprecia que hubo una ligera disminución en la concentración del arsénico, siendo 0.0363 mg/L para filtros de carbón activado granular y 0.0352 mg/L para filtros de zeolita; en comparación con la categoría 3, estos valores se encuentran por debajo, en tanto con la categoría 1, estos resultados no son lo suficientes, puesto que aún superan los ECA de agua de categoría 1. Para el caso del plomo, hubo una disminución significativa, siendo 0.0007 mg/L haciendo uso del carbón activado granular y 0.0008 mg/L con filtros de zeolita; en comparación con la categoría 3, estos valores se encuentran por debajo, en tanto con la categoría 1, estos resultados fueron muy significativos, puesto que los valores obtenidos se posicionaron por debajo de los ECA de agua de categoría 1.

Recomendaciones

Se recomienda investigar el porcentaje de remoción de otros metales pesados, tales como cobre, uranio, estaño, bario, cadmio, níquel, entre otros, con filtros de carbón activado granular y zeolita, de efluentes mineros. Asimismo, con volúmenes de muestras de agua mucho mayores a los descritos en la presente investigación.

Se recomienda caracterizar la calidad de agua de la quebrada Saccllani en el sector Santa Rosa para parámetros de arsénico, plomo, cobre, uranio, estaño, bario, cadmio, níquel, entre otros, en épocas de estiaje, puesto que la estacionalidad representa un papel muy importante en la calidad de agua.

Se recomienda agregar en mayores proporciones la cantidad de carbón activado granular y zeolita para el porcentaje de remoción de metales pesados, tales como arsénico, plomo, cobre, uranio, estaño, bario, cadmio, níquel, entre otros; de aguas superficiales. Asimismo, aplicar para sistemas continuos de flujo.

Se recomienda utilizar la combinación de capas de carbón activado granular y zeolita en un filtro, para determinar la eficiencia de remoción de metales pesados de aguas superficiales y efluentes mineros.

Referencias

Alfaro, E. L., & Gamboa, M. S. (2019). *Tiempo de contacto y masa de zeolita natural en la adsorción de cromo total de efluentes de la curtiembre cuenca* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/21741

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018). *Resultado del monitoreo de la calidad de agua de la cuenca del río Pampas y sus efluentes–2018*. https://www.gob.pe/ana

Ankrah, A. F., Tokay, B., & Snape, C. E. (2022). Heavy Metal Removal from Aqueous Solutions Using Fly-Ash Derived Zeolite NaP1. *International Journal of Environmental Research*, *16*(2), 1–10. https://doi.org/10.1007/S41742-022-00395-9/TABLES/5

Bangoura, M., Diallo, A. D., Diallo, A. S., Kante, C., Bangoura, M., Diallo, A. D., Diallo, A. S., & Kante, C. (2023). Wastewater Treatment Trial by Double Filtration on Granular Activated Carbon (GAC) Prepared from Peanut Shells. *Green and Sustainable Chemistry*, *13*(1), 1–8. https://doi.org/10.4236/GSC.2023.131001

Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). Activated carbon adsorption. *Activated Carbon Adsorption*, 1–472. https://doi.org/10.1680/bwtse.63341.147

Barreto Pio, C. E. (2021). *Potencial de remoción de la zeolita natural peruana en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.13084/4732

Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D. I., & Reynel-Ávila, H. E. (2017). Adsorption processes for water treatment and purification. *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*, 1–256. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58136-1/COVER

Borja Osorio, A. S. (2019). *Carbón activado de corteza de papa como filtro para la remoción de plomo y cadmio en aguas de mina, Casapalca – Lima, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54807

Caruajulca Vásquez, C. E. (2022). *Influencia del tiempo de contacto del carbón activado en la remoción de cromo VI en aguas residuales de curtiembres: Trujillo* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNT. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/19548

Cecen, F., & Aktas, O. (2012). *Activated carbon for water and wastewater treatment : integration of adsorption and biological treatment*. Wiley-VCH.

Chaupis Cadillo, R. F., & Reyes Javier, G. C. (2018). *Remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor- Lima Con Zeolitas Naturales* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC. http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2762

Chiclote, Y. E. (2018). *Mejora de la calidad del agua del río Cumbe empleando filtro de carbón activado* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Reposición Institucional UPN. http://hdl.handle.net/11537/13839

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (1931). *Stantec's water treatment : principles and design*. Stantec. Wiley.

Dabrowski, A. (2001). Adsorption–From theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, *93*(1–3), 135–224. https://doi.org/10.1016/S0001-8686(00)00082-8

Díaz, R. E. (2021). *Evaluación de la calidad de agua utilizando filtro de carbón activado y cloración por goteo en el río Quilish* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/27753

Douglas, M. (2002). *Diseño y análisis de experimentos.* Limusa Wiley.

Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *74*(5), 793–807. https://doi.org/10.1351/PAC200274050793

Fitzer, E., Köchling, K. H., Boehm, H. P., & Marsh, H. (1995). Recommended terminology for the description of carbon as a solid. *Pure and Applied Chemistry*, *67*(3), 473–506.

Gusain, D., & Bux, F. (Faizel). (n.d.). *Batch adsorption process of metals and anions for remediation of contaminated water*. CRC Press.

Hamid, H., & Ali, M. A. (2004). MTBE and Other Gasoline Oxygenates. *Handbook of MTBE and Other Gasoline Oxygenates*, 384. http://www.dekker.com

Hattori, H., & Ono, Y. (n.d.). *Solid acid catalysis : from fundamentals to applications*. Jenny Stanford Publishing.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mc GrawHill Education.

Huaranccay Quispe, J. (2022). *Remoción de arsénico y plomo con filtros de carbón activado granular y zeolita, sector Santa Rosa quebrada Saccllani, Ayacucho, 2022* [Tesis ingenería, Universidad Nacional de Trujillo].

Infante, D. (2017). *Carbón activo granular, en la mejora de la calidad del agua potable* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/12672

Inglezakis, V. J., & Poulopoulos, S. G. (2006). *Adsorption, ion exchange and catalysis: design of operations and environmental applications*. Elsevier.

Jyothi, R. Kumar., & Parhi, P. Kumar. (2021). *Clean coal technologies: beneficiation, utilization, transport phenomena and prospective*. Springer.

Król, M. (2020). Natural vs. Synthetic Zeolites. *Crystals, 10*(7). https://doi.org/10.3390/CRYST10070622

Kwiatkowski, J. F. (2011). *Activated carbon: classifications, properties and applications*. Nova Science Publishers.

Mariela, S., & Yantas, M. (2020). A*dsorción de plomo (II) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus) en la laguna Huascacocha, Yauli, Junín–2020* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9966

Méndez de los Santos, N., & López Ocaña, G. (2021). Zeolitas nativas en el tratamiento de agua residual doméstica. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, *10*(19). https://doi.org/10.23913/ciba.v10i19.106

MINAM. (2019). *Guía para la Elaboración de la Línea Base y la Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental-SEIA Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM*. www.minam.gob.pe

Moreno Balseca, A. R., & Palacios Cabrera, T. A. (2017). Tratamiento de drenaje ácido de mina con el uso de zeolita natural a escala experimental. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *1*(2). https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.67

Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *14*(27). https://doi.org/10.31908/19098367.1734

Quiroz Soriano, L. G., & Sánchez Arteaga, M. L. (2018). *Efecto del peso y granulometría del carbón activado de coronta de Zea mays en la adsorción de cromo del efluente de curtido–curtiembre Cuenca, Trujillo* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://hdl.handle.net/20.500.12692/32804

Rajan, M. J., Anish, C. I., Rajan, M. J., & Anish, C. I. (2022). Role of Activated Carbon in Water Treatment. *Water Quality–New Perspectives [Working Title]*. https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.108349

Rivas Sánchez, G., & Chuquipoma Távara, R. G. (2017). *Remoción de cromo (VI) usando zeolita tipo clinoptilolita modificada con fierro (II), en soluciones sintéticas* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNT. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9883

Rojas Cerda, K. V. (2020). Valoración de la eficiencia de remoción de arsénico en agua con carbón activado de jícaro sabanero (Crescentia alata) y su combinación con óxidos de hierro. *Revista Torreón Universitario*, *9*(24). https://doi.org/10.5377/torreon.v9i24.9724

Saldaña López, K. R. (2020). *Evaluación del porcentaje de bioadsorción del arsénico en agua potable de Sama Inclán -Tacna utilizando cáscara de maracuyá (Passiflora edulis) en polvo* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional http://hdl.handle.net/20.500.12969/1708

Sharma, S. K. (n.d.). *Heavy metals in water: presence, removal and safety*. Royal Society of Chemistry.

Tambo, N. (Norohito), & Ogasawara, K. (2020). *Physical and chemical separation in water and wastewater treatment*. IWA Publishing.

Viera Moreno, N. A. (2019). *Influencia de la temperatura de impregnación del azufre sobre carbón activado de Persea american en la adsorción de plomo hierro y cadmio en soluciones acuosas* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.14414/11547

Worch, E. (2021). Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling. *Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling*, 1–356. https://doi.org/10.1515/9783110240238/MACHINEREADABLECITATION/RIS

Religación

Press

Ideas desde el Sur Global

Religación
Press

ISBN: 978-9942-664-02-0