



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Eficiencia de remoción de arsénico con carbón activado
de *Stipa Ichu* y Hematita en agua subterránea**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORA:

Chirinos Trujillo, Nataly Miluska (orcid.org/0000-0002-4682-0878)

ASESOR:

Mgtr. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

A mi amada madre Leocadia por enseñarme que las adversidades de la vida no son un obstáculo para cumplir nuestros objetivos.

A mi querido padre Carmelo por enseñarme la disciplina y constancia que hoy en día aplico en cualquier circunstancia.

A mis queridos hermanos Arnold, Gina, Olger, Daniela y Carlos por su apoyo incondicional a pesar de la distancia.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme todos los recursos para salir Adelante.

A mi amada madre Leocadia y mi amado padre Carmelo por esforzarse durante años enteros para darme una carrera profesional.

A la Universidad César Vallejo por brindarme la oportunidad de cumplir mi sueño profesional.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Tipo y diseño de investigación	19
3.2 Variables y operacionalización.....	19
3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.5. Procedimientos	22
3.6. Método de análisis de datos.....	35
3.7. Aspectos éticos	37
IV. RESULTADOS.....	38
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS	46
ANEXOS	54

Índice de tablas

Tabla N°1.	Resumen cuantitativo de los antecedentes.....	12
Tabla N°2.	Características Físicas de las muestras de agua subterránea sin tratamiento.	35
Tabla N°3.	Humedad y cenizas del carbón activado de <i>Stipa ichu</i>	35
	Para determinar el valor de humedad en el carbón activado se necesitó los siguientes valores:.....	35
Tabla N°4.	Remoción de arsénico.....	36
Tabla N°5.	Variación del pH final de las muestras de agua subterránea. ...	38
Tabla N°6.	Resultados de la variación de la conductividad eléctrica después del tratamiento.....	39
Tabla N°7.	Resultados de humedad y cenizas del carbón activado de <i>Stipa ichu</i> .	40
Tabla N°8.	Resultados de la remoción de arsénico con las distintas dosis de carbón activado de <i>Stipa ichu</i> y hematita triturada.....	40
Tabla N°9.	Cuadro comparativo de las concentraciones de arsénico encontradas y las concentraciones recomendadas por la OMS.....	41

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Muestra de hematita mineral.....	1
Figura 2. Ubicación del punto de muestreo.....	21
Figura 3. Procedimientos.....	22
Figura 4. Stipa ichu en áreas públicas de la ciudad.	23
Figura 5. Recolección aleatoria del Stipa ichu.....	23
Figura 6. Selección de impurezas y otras especies vegetales de la muestra de Stipa ichu.....	24
Figura 7. Lavado de la muestra de Stipa ichu.	24
Figura 8. muestra de Stipa ichu en el laboratorio de agua y suelos ubicada en la ciudad de Puno.	25
Figura 9. Selección de la biomasa para la determinación de humedad.	25
Figura 10. Instrumento para el pirólisis de la biomasa.	26
Figura 11. Molienda del carbón de Stipa ichu.	26
Figura 11. Activación del carbón.	27
Figura 12. Preparación de los reactivos para la oxidación.	27
Figura 13. Oxidación del carbón activado.	28
Figura 14. Secado del carbón oxidado.....	28
Figura 15. Pesaje del mineral.....	29
Figura 16. Pesaje del carbón activado con hematita triturada.....	29
Figura 17. Secado del carbón con hematita.....	30
Figura 18. Ubicación de la zona de muestreo.	30
Figura 19. Ubicación del punto de muestreo.....	31
Figura 20. Bomba de agua conectada a la napa freática.....	31
Figura 21. Toma de muestra por el especialista.....	32
Figura 22. Resguardo de las muestras tomadas.....	32
Figura 23. Recepción de las muestras de agua subterránea en el laboratorio de agua y suelos.	33

Figura 24. Filtración del agua subterránea por las dosis de carbón con hematita.....	33
Figura 25. Filtración final para llevar a analizar la nueva concentración.	34
Figura 26. Hoja de resultados emitido por el laboratorio de calidad de agua y suelos de la Universidad Nacional del altiplano.	34
Gráfico 1. Variación del pH inicial y el pH final de las muestras de agua subterránea.	38
Gráfico 2. Variación de la conductividad eléctrica de las muestras de agua subterránea.	39
Gráfico 3. Porcentaje de remoción en las muestras de agua.	41
Gráfico 4. Comparación de las concentraciones de arsénico.....	42

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo principal de evaluar la eficiencia de remoción de arsénico con carbón activo de Stipa ichu y hematita en una muestra de agua subterránea tomada de la urbanización San Crispín de la ciudad de Juliaca del departamento de Puno, puesto que esta parte de la población se encuentra expuesta al consumo directo del agua subterránea sin ningún tipo de tratamiento por medio de los pozos tubulares a consecuencia de la falta de abastecimiento del agua potable, lo cual se realizó el análisis del arsénico de la muestra determinando una concentración inicial de 0.1205mg/l, esta cifra supera el valor establecido por la organización mundial de la salud, por ello, se puso en práctica un tratamiento a base de ichu carbonizado previamente activado físicamente y oxidado con ácido nítrico y ácido sulfúrico impregnado con hematita triturada en lo cual se utilizó distintas dosis con una proporción de 50% carbón activado de Stipa ichu y 50% hematita triturada, donde se obtuvo resultados positivos de hasta un 96.60% de eficiencia de remoción del arsénico en la muestra de agua subterránea, con la dosis de 10g/l la cual fue la más eficiente.

Palabras Clave: Agua subterránea, arsénico, hematita, remoción, stipa ichu.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the main objective of evaluating the efficiency of arsenic removal with activated carbon from Stipa ichu and hematite in a groundwater sample taken from the San Crispín urbanization of the city of Juliaca in the department of Puno, since this Part of the population is exposed to direct consumption of groundwater without any type of treatment through tube wells as a result of the lack of drinking water supply, for which the arsenic analysis of the sample was carried out, determining an initial concentration of 0.1205mg/l, this figure exceeds the value established by the world health organization, for this reason, a treatment based on carbonized ichu previously physically activated and oxidized with nitric acid and sulfuric acid impregnated with crushed hematite in which 03 used different doses with a proportion of 50% activated carbon from Stipa ichu and 50% crushed hematite ada, where positive results of up to 96.60% arsenic removal efficiency in the groundwater sample were obtained, with the dose of 10g/l which was the most efficient.

Keywords: Arsenic: hematite, removal, stipa ichu, underground wáter.

I. INTRODUCCIÓN

El agua de origen subterráneo es un recurso y fuente principal de abastecimiento para las necesidades básicas de la población; sin embargo, su contaminación con arsénico es un tema alarmante porque existen reportes de niveles elevados en la capa freática en diversas partes del mundo (Galindo et al., 2006). Su presencia en el agua subterránea se da a una combinación de procesos naturales y actividades antropogénicas que provocan la lixiviación de los minerales al entrar en contacto con el agua (Galindo et al., 2006). Su grado de toxicidad en el ser humano es elevado y existe evidencia de efectos adversos como consecuencia de su consumo como el cáncer. Aunque existen técnicas que se emplean para tratar estas aguas y eliminar el arsénico suelen ser costosas y están fuera de la disponibilidad de la población que lo necesita (Ferrecio et al., 2000).

Por ello es importante investigar la eficiencia y nuevos materiales disponibles en el ambiente para remover arsénico en agua subterránea que sean compatibles con la naturaleza o generen menor impacto tras su tratamiento (Gimenez et al., 2007).

La remoción de arsénico con hematita u óxido férrico en su forma mineral es altamente eficiente por su alta capacidad de adsorción que, dependiendo en un determinado rango de pH puede remover arsénico de manera eficiente igual o mayor del 80% (Mamindy et al., 2009). Sin embargo, su eficiencia puede ser potenciada por medio del uso de otros elementos que pueden complementar sus propiedades, como es el carbón activado.



Figura 1. Muestra de hematita mineral.

La remoción de arsénico con carbón activado no es muy eficiente por sí solo, pero existe evidencia que contribuye con múltiples beneficios al momento de realizar la combinación con óxido de hierro ya que su superficie puede ser modificada e impregnada con metales de transición, es decir hematita (Daus et al., 2004). Sus poros bien desarrollados favorecen la capacidad de adsorción, sirviendo, así como medio de soporte para la carga en el que se puede impregnar óxido de hierro como hematita triturada, potenciando el porcentaje de remoción de arsénico en la muestra de agua contaminada formando así una combinación altamente eficiente (Zhang et al., 2007).

La combinación de óxidos de hierro con carbón activado no se ha empleado con frecuencia por lo cual se necesita más investigación ya que promete ser altamente eficiente al remover arsénico además de ser económicamente factible (Montero et al., 2018). Para la fabricación de carbón activado se utilizó recursos locales y abundantes como es *Stipa ichu* ya que fueron aprovechados con otra finalidad y disminuyeron los costos operativos a comparación de los carbones comerciales (Montero et al., 2018). *Stipa ichu* se encuentra disponible en la zona andina del Perú donde se emplea el agua del acuífero al carecer de otros métodos de reservorio, en este caso por falta de abastecimiento de la empresa prestadora de servicio de saneamiento a cargo en el distrito de Juliaca (George et al., 2018).

Stipa ichu es utilizada mayormente como alimento para ganado ya que no se conoce como un elemento para remover arsénico, entonces se dará una nueva utilización de esta materia prima al transformarla en carbón. En ese sentido se planteó como problema de investigación ¿Cuál es la eficiencia de remoción de arsénico con carbón activo de *Stipa ichu* y hematita en agua subterránea? Mientras que los problemas específicos se plantean (i) ¿Cuál es la eficiencia de remoción de arsénico con 2ppm de la mezcla de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea? (ii) ¿Cuál es la eficiencia de remoción de arsénico con 4 ppm de la mezcla carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea? (iii) ¿Cuál es la eficiencia de remoción de arsénico con 10 ppm de la mezcla carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea?

De acuerdo con Mamani, W. (2019), una de las preocupaciones desapercibidas es la contaminación del agua subterránea por arsénico por la exposición directa de la población por falta de acceso al agua potable. Estudios como el de Mamani, W. (2019) demostraron que el 95% del recurso hídrico subterráneo de la provincia de San Román - Juliaca presentó concentraciones superiores a límites máximos permisibles establecidos por la ONU, En algunos estudios como el de Condori, E. (2019) promueve el aprovechamiento de recursos abundantes de la localidad que no son valorados como carbón activado y mucho menos como agente removedor de arsénico.

La investigación planteada servirá para promover el aprovechamiento de plantas abundantes y disponibles en la localidad del altiplano como es *Stipa ichu* y hematita (óxido férrico) que es utilizado para joyería, dando otra utilización a ambos recursos, promoviendo técnicas novedosas, económicamente viable para remover arsénico de manera eficiente.

La investigación planteada contribuirá a generar nuevos antecedentes respecto al aprovechamiento de recursos orgánicos con carbón activado de *Stipa ichu* y hematita respecto a la eficiencia de remoción de arsénico y servirá para profundizar nuevas investigaciones.

Por tanto, se plantea el objetivo general de *“Evaluar la eficiencia de remoción de arsénico con carbón activo de Stipa ichu y hematita en agua subterránea”*. Mientras que como objetivos específicos se plantea (i) Evaluar la eficiencia de remoción de arsénico con 2 ppm de la mezcla carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea (ii) Evaluar la eficiencia de remoción de arsénico con 4 ppm de la mezcla carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea. (iii) Evaluar la eficiencia de remoción de arsénico con 10 ppm de la mezcla carbón activado de *Stipa ichu* y hematita (50:50 v/v) en una muestra de agua subterránea. Bajo la hipótesis que *“El carbón activo de Stipa ichu y hematita son más eficientes que el óxido de hierro tradicional en la remoción de arsénico en agua subterránea”*

II. MARCO TEÓRICO

Se revisó la bibliografía para encontrar evidencia científica acerca de la eficiencia de la remoción de arsénico en una muestra de agua subterránea mediante la combinación de carbón activado y hematita (óxido férrico), según los antecedentes se tiene que:

Chen et al. (2007), evaluaron una proporción del 50% carbón (2g) y 50% (2g) Cloruro férrico por medio del método de Impregnación de hierro por evaporación de sales de hierro, de lo cual añadieron 2 g/l de esta mezcla para remover el arsénico en la muestra de agua subterránea y afirmaron que los carbones activados impregnados de hierro dieron buenos resultados para remover la concentración inicial de arsénico y los resultados indican un 83.4% de eficiencia de remoción de una concentración inicial de 0.06mg/l de arsénico y recomendaron oxidar el carbón con ácido nítrico combinado con ácido sulfúrico antes de agregar el hierro para obtener una mejor carga.

Rojas (2020), evaluó una proporción del 50% carbón activado de cáscara de jícara sin oxidación y 50% óxido férrico, aplicó 4g/l de carbón activado/óxido férrico en cada muestra, con un total de (03) muestras de agua subterránea y evaluó la remoción de arsénico a concentraciones iniciales de 10, 25 y 50 µg As/l en el cual obtuvo resultados de 6, 14 y 22 µg As/l, los resultados indican un 58% de eficiencia de remoción y resaltó que los tiempos de contacto no hacen diferencia en los resultados, recomendó trabajar al contacto menor a 6 horas, considerar la granulometría igual o menor a 0.6mm en caso del carbón y recomendó emplear oxidación previa al carbón ya que no obtuvo la suficiente carga de hierro en el carbón,

Wang et al. (2015), evaluaron la combinación de carbón activado de pino más hematita natural, con una proporción de 83% de carbón activado y 17% hematita natural, prepararon 2g de hematita en 40ml de agua desionizada por 30 minutos en un ultrasonicador, luego añadieron 10 g de carbón realizando una mezcla homogénea por 2 horas a una temperatura de 600°C, donde obtuvieron resultados positivos de una concentración inicial de 0.02ppm los resultados indican un 88.5% de eficiencia de remoción y resaltaron que la oxidación activó

la propiedad magnética de la hematita por lo que recomiendan trabajar en un pH de 7.5, valor donde se obtuvo la máxima adsorción.

Yurum et al. (2014) evaluaron una proporción de 95% de cloruro férrico y 5% de carbón activado, realizaron una mezcla de un total de 21g carbón activado/cloruro férrico, de esta mezcla solo se utilizó 0.0225g para remover una concentración inicial de 5mg/l de arsénico y emplearon la técnica de tratamiento hidrotermal por microondas a un rango de pH de 6 - 8, obtuvieron resultados favorecedores donde lograron un 20% de carga de hierro en solo nueve (09) minutos y un 99% de eficiencia de remoción de arsénico, recomendaron utilizar la técnica ya mencionada ya que los tiempos de reacción fueron más cortos que los métodos tradicionales y a su vez formaron partículas más finas que beneficiaron la adsorción.

Wei et al. (2019), evaluaron adsorbentes económicos a base de fibra de biocarbón impregnado de óxido de hierro para remover arsénico en su dos estados de oxidación por medio de la técnica de reacción hidrotermal simple donde utilizaron una proporción de 24% carbón activado(0.25g) y 76% de óxido férrico(0.81g) en una solución con una concentración inicial de 0.275mg/l y los resultados indican un 93.94% para As(V) y 70,22% para As(III) de eficiencia de remoción comprobando la eficiencia de la mezcla CAG-Fe y recomendaron trabajar a un pH de 6.7 ya que fue el rango donde mejores resultados obtuvieron.

Chang et al. (2010), evaluaron una proporción de 30% carbón activado granular (CAG) y 70% cloruro ferroso (ClFe₂) con una mezcla total de 90 g/l, solo utilizaron 300mg/l de la mezcla Fe-GAC a una solución con una concentración inicial de 3 mg/l de arsénico, los resultados indican un 99% de remoción a un pH de 2 a 6, recomiendan utilizar hierro de tamaño nanométrico, ya que las partículas más grandes tienen deficiencias al momento de remover arsénico, resaltaron que el contenido excesivo de hierro no trae resultados favorecedores y sugirieron trabajar con el contenido de hierro inferior menor a 4.22% donde se mantuvo un nivel de eficiencia alto.

Mondal et al. (2008), compararon la eficiencia de remover arsénico con carbón activo granular sin tratar (GAC) y carbón activo granular impregnado con óxido férrico (GAC-Fe), en una solución de 240 ml de cloruro férrico se le añadieron

100 g de carbón activado en una solución con una concentración inicial de 0.2mg/l, añadieron una mezcla homogénea de 24g/l para el GAC y en otra muestra añadieron una mezcla homogénea de 8g/l para el GAC-Fe, con un tiempo de agitación de 15 horas para ambas muestras y los resultados de remoción para GAC-Fe indican un 95% y para el GAC fueron 55% de remoción a una probando la eficiencia de la impregnación de sales de hierro en una estructura porosa, recomendaron trabajar a un pH de 7.

Sigrist et al. (2014), evaluaron una proporción del 54% carbón activado (20g) y 46% cloruro férrico (17g) mediante la técnica humedad incipiente, utilizaron 10 g de la mezcla carbón/cloruro para remover la concentración inicial de 180 mg/l de arsénico donde obtuvieron resultados de un 72% de remoción y determinaron que la máxima capacidad de adsorción fue al 10% de impregnación de hierro, entonces los contenidos más altos de hierro no traen mejores resultados ya que disminuyen la capacidad de eliminar arsénico.

Montero et al. (2018) aprovecharon los restos de caña de azúcar y cáscara de mazorca de maíz pasaron por un proceso de pirólisis, utilizaron 60 g de cada resto y fueron sometidos a una concentración de 2.5mol/l de oxidantes químicos a tiempos considerablemente cortos de 10 a 30 minutos y afirmaron que estos biocarbones fueron más económicos que los carbones comerciales, también reportaron que la cáscara de maíz fue la más eficiente mejorando la adsorción del arsénico de una concentración inicial de 1mg/l a una concentración con un resultado final de un 99% de eficiencia de remoción, en caso de los restos de azúcar obtuvieron un resultado final de un 85% de eficiencia de remoción.

Sahu et al. (2021), evaluaron una proporción de 60% carbón activado (30g) y 40% cloruro férrico (15 g) para remover arsénico (III). En una solución con una concentración inicial de 0.5mg/l de arsénico (III) añadieron una mezcla homogénea de 4g/l de la mezcla de carbón activado/cloruro férrico y los resultados indican un 75% de eficiencia de remoción por lo que recomiendan utilizar oxidación previa para potenciar los resultados.

Sandoval et al. (2011) evaluaron la capacidad de remover arsénico con carbón activado comercial (GAC) y dióxido de zirconio (ZrO_2) para fabricarlo realizaron el proceso de hidrólisis de sal de zirconio para luego ser sometido al recocido en

una temperatura de 400°C en un ambiente estéril, después utilizaron 50ml de GAC y mezclaron con 100ml de solución de 2.7M de $ZrOCl_2$ mediante un mezclador rotatorio a 30 rpm, ya obtenida la mezcla se incorporó a la muestra de agua con arsénico el contenido inicial de 120g/l donde obtuvieron resultados positivos de un 99% de eficiencia de remoción y recomendaron cuidar el contenido del óxido de zirconio ya que afecta considerablemente la adsorción de los poros del carbón activado granular, también indicaron que no es rentable su aplicación a poblaciones rurales y que es más costoso en comparación al óxido férrico.

Pan et al. (2010) evaluaron la capacidad de remover arsénico en una muestra de agua con diatomita recubierta de óxido de hierro (hematita) denominada como IOCD, donde trataron la diatomita con un proceso de acidificación con HCl a una concentración de 1M durante un día y secado a 110°C para luego ser recubierto con hematita repitiendo este proceso cinco veces finalmente enjuagado en agua desionizada, luego realizaron la mezcla de 25g de tierra acidificada (diatomita) con 80ml de 2.5M de Hematita durante nueve (09) horas, finalmente incorporaron la mezcla IOCD en la muestra de agua con arsénico donde obtuvieron resultados positivos con un 74.5% de remoción de arsénico a una concentración final de 8.7mg/l a un pH de 7.5 y recomendó trabajar en el rango de pH de 5.5 a 7.5.

Yao et al. (2014) evaluaron la capacidad de remover arsénico por medio de la combinación carbón activado/óxido férrico a partir de una suspensión del carbón oxidado en una solución de 400ml de $FeCl_3$ (7.8g, 28mmol) sometidos a 70°C finalmente se enjuagó con agua desionizada y se reservó, se utilizó 5g/l de la mezcla anterior (carbón activado/óxido férrico) en una solución de 100ml con una concentración inicial de 250mg/l donde obtuvieron resultados positivos de un 89.7% de remoción a un pH de 3.0-8.0, indicaron que los tiempos de contacto no causan diferencia en los resultados y recomendaron controlar los valores de fosfatos y silicatos ya que disminuyen el porcentaje de remoción.

Pawar et al. (2018) utilizaron perlas compuestas de carbón activado de cáscara de coco con bentonita natural y óxido de hierro para remover arsénico de una muestra de agua, utilizaron 0.1g/l de perlas procesadas y secas para la remoción de arsénico a un pH de 3.0 a 9.0 bajo una concentración inicial de 6.74mg/l de

arsénico a 25°C durante 24 horas, observaron que los resultados fueron más favorecedores a un pH ácido con un 85% de remoción a una concentración final de 1.01mg/l, recomendaron controlar los fosfatos y silicatos ya que disminuyeron la capacidad de remoción de las perlas.

Mondal et al. (2007) Evaluaron la capacidad de remover arsénico del carbón activado granular impregnado con óxido férrico (GAC-Fe) y del carbón activado granular (GAC), utilizaron una dosificación de 30g/l para GAC-Fe y para GAC bajo el tiempo de agitación de ocho (08) horas a una concentración inicial de 0.2mg/l a una temperatura de 30°C de arsénico donde obtuvieron resultados positivos para GAC-Fe obteniendo la eliminación máxima de arsénico total, arseniato y arsenito a un 95.5%, 93% y 98% respectivamente, en cuanto al GAC obtuvieron un porcentaje de remoción de 56%, 41% y 71% respectivamente recomendaron trabajar a un pH de 5-7 para el arseniato y 9-11 para el arsenito.

Budinova et al. (2009) elaboraron carbón activado a base de restos de vainas de frijol para remover arsénico en una muestra de agua, donde seleccionaron 50g de materia prima, luego trituraron entre 1 y 5mm, después sometieron la muestra a pirólisis y realizaron la activación física por medio de vapor de agua para luego reservar la muestra, después seleccionaron aleatoriamente 0.5g del carbón activado y lo pusieron en contacto con 100ml de solución a concentraciones iniciales de 5, 10, 15 y 20 mg/l⁻¹ donde obtuvieron una capacidad de adsorción de 1.01mg/g⁻¹, indicaron que el carbón obtenido a partir de restos vegetales tiene resultados similares que los carbones comerciales que son más costosos y confirmaron la necesidad de agregar algún añadido de hierro para elevar la eficiencia de remoción.

Gu et al. (2005) evaluaron la capacidad de remover arsénico por medio del carbón activado granular de lignito (GAC) y cloruro ferroso (FeCl₂), para oxidar el carbón utilizaron hipoclorito de sodio siendo el oxidante más eficaz, luego realizaron la impregnación del FeCl₂ bajo una concentración de 0.025 a 0.4M luego fueron reservados, luego prepararon 10g de GAC para insertarlos en un matraz del 150ml de solución de FeCl₂ a una concentración de 0.10M, donde obtuvieron resultados favorecedores, de una concentración inicial de 1.031mg/l de arsénico obtuvieron un 95% de eficiencia de remoción bajo un amplio rango

de pH de 4.4 a 11, pero la eficiencia disminuyó cuando el pH superó 9, la carga de hierro impregnado eficiente fue de 7.89% lo cual elimina arsénico de manera eficaz y recalcaron que contenidos mayores de hierro disminuyeron la adsorción, también recomendaron tener en cuenta las cantidades de fosfato y silicatos ya que disminuyen el porcentaje de remoción.

Arcibar-Orozco et al. (2014) evaluaron la remoción de arsénico por medio de la combinación de carbón activado comercial y cloruro ferroso, por medio de la oxidación donde pusieron en contacto 2g de CA con 80ml de HNO a una concentración de 8M a 80°C luego dejaron reposar un día para poder modificar este carbón con óxido férrico lo cual utilizaron 500mg de CA y lo pusieron en contacto con 10ml de FeCl₃ a una concentración de 3M y se agitó durante 24 horas consecutivas finalmente utilizaron esta mezcla a una muestra de agua con arsénico con una concentración inicial de 4mg/l donde mantuvieron un pH constante de 7 donde obtuvieron un 86.5% de remoción y recomendaron controlar constantemente el pH, ya que este parámetro es el primordial para obtener altos porcentajes en la eficiencia de remoción de arsénico.

Kim et al (2010) Evaluaron la adsorción del arsenito (As III) y arseniato (As V) en carbón activado granular impregnado de hierro (Fe-GAC), donde siguieron una serie de procedimientos para combinar ambos elementos, el carbón tenía un rango de tamaño de 0.6 a 2.3mm luego fue enjuagada con agua desionizada, después fue sometida a secado por medio de autoclave durante 15 minutos, se enfrió a temperatura ambiente y por último se secó en horno a 105°C por 12 horas consecutivas luego disolvieron 5.5g de FeCl₃ en agua desionizada luego añadieron 25g el GAC a una concentración inicial de 1mg/l de arsénico donde obtuvieron porcentajes de remoción de 65.2% para As III y 70% para As V, donde recalcaron la importancia de la oxidación ya que no oxidaron el carbón y hubo diferencia significativa en el porcentaje de remoción.

Fierro et al. (2009) Evaluaron la capacidad de remover arsénico con hierro (ClFe₂) y carbón activado (GAC) por medio de la hidrólisis forzada, donde utilizaron 2g de carbón activado/cloruro férrico previamente oxidado e impregnado a una muestra de agua para remover una concentración inicial de 0.3mg/l obteniendo un porcentaje de remoción de arsénico del 94% luego de 6

horas de hidrólisis, comprobando la eficiencia de este método ya que aumenta el contenido de hierro en la superficie interna y externa del carbón activado, obteniendo un porcentaje de 1.5 y 9.4% de contenido de hierro considerado alto y recomendaron controlar el pH que fue un parámetro que favoreció la hidrólisis, aumentando la cantidad de hierro impregnado en el carbón activado.

Sharma (2020) Evaluó la capacidad de remover arsénico por medio de compuestos de hierro y carbón activado de restos de caña gigante, realizó procedimientos para transformar la materia prima donde las cañas se secaron en un horno a 110°C por 6 horas para luego ser molidas a un tamaño de 300µm, luego se carbonizó a 500°C por 3 horas, por último realizó la activación química con cloruro de zinc posteriormente ser reservado, luego incorporó las partículas hierro por medio de tratamiento hidrotérmico 800mg a una solución de 100mg de carbón activado, de esta mezcla utilizó una dosis de 1.8g/l para remover una concentración inicial de 5mg/l de arsénico donde obtuvo resultados positivos del 84% de remoción y recomendó mantener un pH constante de 8 y un tiempo de contacto de 60 minutos.

Muongpak et al. (2017) Evaluó la capacidad de remover arsénico mediante la adsorción del arseniato (As V) por medio del carbón activado impregnado de óxido de hierro mediante una combinación de 50% carbón y 50% óxido de hierro obtuvieron una dosis de 5g/l a una concentración inicial de 1mg/l de arsénico donde obtuvieron resultados positivos de un 90% de eficiencia de remoción y recomendaron trabajar en condiciones de equilibrio de pH de 5.5 ya que en esta escala fue donde obtuvieron el mejor porcentaje de remoción y sugieren trabajar a un tiempo de contacto de 16 horas para que haya buena impregnación del óxido de hierro sobre el carbón activado.

Cruz et al. (2020) Produjeron carbones a partir de residuos forestales como el aserrín y residuos agroindustriales de cascarillas de arroz, mazorca de cacao, mazorca de maíz, hueso de mango y café, primero lavaron la materia prima con abundante agua y luego secaron a 80°C, para después ser molidas y tamizada a un tamaño de 0.5 a 1mm, finalmente se mezclaron con cloruro de zinc en una proporción de 1:1, realizaron la activación y la oxidación en un mismo procedimiento, en una muestra de 0.056mg/l de arsénico se incorporó 1g/l de la

mezcla ya procesada donde obtuvieron resultados del 80% en los primeros 5 minutos, por lo tanto muestra ser altamente eficiente.

Garrido-Hoyos et al. (2016) Evaluaron la capacidad de la goethita y la capacidad de la arena silíceo recubierta con hierro para remover arsénico de lo cual tuvieron un área superficial de 43m^2 para goethita y 2.44m^2 para la arena silíceo, pusieron en contacto con la muestra de agua de arsénico que tenía una concentración inicial de 0.36mg/l donde obtuvieron resultados favorecedores para la goethita con un 98.61% de eficiencia de remoción a una concentración final del 0.005mg/l siendo el adsorbente más eficaz precisamente porque es un mineral rico en hierro en cambio en la arena silíceo obtuvieron un 49% de eficiencia de remoción, demostrando que un mineral de procedencia natural posee mayor capacidad de remoción en comparación a los componentes de hierro comerciales.

Hossain et al. (2016) analizaron la viabilidad económica para remover arsénico presente en el agua subterránea por medio de desechos de té tratados e impregnados de Cloruro de hierro donde lavaron los residuos con abundante agua destilada, luego secaron al aire por 5 horas para después secarlo en el horno a 60°c por 24 horas finalmente estos restos fueron molidos y tamizados a $20\ \mu\text{m}$, en una solución fueron cargados con 40ml de concentraciones de 50mg/l de FeCl con 10g de los residuos procesados donde obtuvieron resultados favorecedores de un 90% de eficiencia de remoción de una concentración inicial de 0.1mg/l de arsénico, recalcaron que el porcentaje de eficiencia fue permanente en los primeros 30 minutos, pasado este tiempo empezó a decaer y recomendaron tener en cuenta el tiempo de contacto.

Por lo tanto, se anexa la siguiente tabla con los datos más relevantes de los antecedentes.

Tabla N°1. Resumen cuantitativo de los antecedentes.

Autor	Año	Proporción de carbón y óxido de hierro	Dosis C.A./Fe	Concentración inicial de arsénico	Metodología	Porcentaje de remoción de arsénico total
Chen et al.	2007	50% carbón 50% cloruro férrico	2g/l	0.06mg/l	evaporación de sales de hierro	83.40%
Rojas	2020	50% carbón 50% óxido férrico	4g/l	0.05mg/l		58%
Wang et al.	2015	83% carbón 17% hematita natural	12g/l	0.02mg/l	ultra sonicación	88.50%
Yurum et al.	2014	5% carbón activado 95% cloruro férrico	0.0225g/l	5mg/l	Tratamiento hidrotermal por microondas	99%
Wei et al.	2019	24% carbón 76% óxido férrico	1g/l	0.275mg/l	reacción hidrotermal simple	As(V) = 93.94% y As(III) = 70,22%
Chang et al.	2010	30% carbón 70% cloruro ferroso	300mg/l	3mg/l	oxidación química	99%
Mondal et al.	2008		8g/l carbón y	0.2mg/l	oxidación química	95% carbón/cloruro -

			cloruro férico			
			24g/l carbón activado	0.2mg/l	oxidación química	55% carbón activado
Sigrist et al.	201 4	54% carbón 46% cloruro férrico	10g/l	180 mg/l	humedad incipiente	72%
Montero et al.	201 8	100% carbón activado de caña de azúcar	60g/l	1mg/l	pirólisis y oxidación química	99%
		100% carbón activado de restos de mazorca de maíz	60g/l	1mg/l	pirólisis y oxidación química	85%
Sahu et al.	202 1	60% carbón 40% cloruro férrico	4g/l	0.5mg/l	pirólisis y oxidación química	75%
Sandoval et al.	201 1		50ml de carbón y 2.7M de ZrOCl ₂	120g/l	oxidación química y mezclador rotatorio	99%

Pan et al.	2010		25g diatomita y 2.5M hematita	12mg/l	acidificación y oxidación química	74.50%
Yao et al.	2014		5g/l	250mg/l	pirólisis y oxidación química	89.70%
Pawar et al.	2018		0.1g/l	6.74mg/l	pirólisis y oxidación química	85%
Mondal et al.	2007		30g/l Carbón y oxido férrico	0.2mg/l	agitación	As(T) = 95.5%, As(V) = 93% y As(III) = 98%
			30g/l carbón activado	0.2mg/l	agitación	As(T) = 56%, As(V) = 41% y as (III) = 71%
Budinova et al.	2009	100% carbón activado de restos de frejol	0.5g	5, 10, 15 y 20 mg/l ⁻¹	pirolisis y activación física	capacidad de adsorción de 1.01mg/g ⁻¹

Gu et al.	200 5		10g carbón y 0.10M de FeCl ₂	1.031mg/l	oxidación química e impregnación de hierro	95%
Arcibar- Orozco et al.	201 4		500mg carbón y 10ml FeCl ₃ a 3M	4mg/l	oxidación química y agitación mecánica	86.50%
Kim et al	201 0	82% carbón 18% óxido férrico		1mg/l	Secado y oxidación física	As(V) = 70% y As(III) = 65.2%
Fierro et al.	200 9		2g/l	0.3mg/l	hidrolisis forzada	94%
Sharma	202 0		1.8g/l	5mg/l	activación química y tratamiento hidrotérmico	84%
Muongpak et al.	201 7	50% carbón 50% óxido férrico	5g/l	1mg/l	oxidación química e impregnación de hierro	90%

Cruz et al.	2020	50% carbón 50% cloruro de zinc	1g/l	0.056mg/l	Secado y oxidación química	80%
Garrido-Hoyos et al.	2016	goethita	43m ²	0.36mg/l		98.61%
		arena silíceo recubierta con hierro	2.44m ²	.36mg/l		49%
Hossain et al.	2016		10g residuos y 50mg/l Cloruro férrico	0.1mg/l	secado, pirolisis, activación química	90%

Del mismo modo, para tener una mejor comprensión del problema se revisaron los conceptos teóricos a las variables de investigación, los cuales se mencionan dentro del siguiente contexto teórico:

Se puede comenzar estableciendo que la contaminación del agua subterránea por arsénico se origina por procesos naturales como la meteorización de rocas internas que al entrar en contacto con el agua generan lixiviados que llegan a los cuerpos de agua subterránea y superficial; también se origina por actividades humanas como la minería (Smedley, 2002). Esta contaminación es importante porque se conoce que el consumo de arsénico en mínimas cantidades tiene efectos secundarios en el ser humano, como generar enfermedades cancerígenas (Mohan et al., 2007); por eso es necesario remover arsénico de manera eficiente.

Para lograr la eficiencia de remoción de arsénico se emplean un conjunto de técnicas que son capaces de eliminar arsénico en sus dos estados de oxidación, el arsenito III y arseniato V, siempre y cuando no ocasionen efectos secundarios significativos: Lamentablemente, la mayoría de las tecnologías conocidas no son eficientes para remover arsénico en su estado de oxidación III, además estas técnicas pueden producir lodos generando residuos peligrosos o su aplicación es costosa. Por lo tanto, se precisa ampliar la investigación con tecnologías eco-amigables y con disponibilidad en el ambiente (Hughes, 2002).

El carbón activado se obtiene por transformación de la materia prima mediante pirólisis y es reconocido por su estructura porosa que le da la capacidad de adsorber distintos elementos atrayéndolos hacia su superficie interna, por eso es considerado como adsorbente de bajo costo porque puede ser elaborado de cualquier materia prima ya sea vegetal o animal, lo que hace que su uso sea sustentable (Asfaram et al., 2017). También, es empleado para tratamiento de agua por sus propiedades purificadoras que eliminan contaminantes que emanen olores y sabores además que es reutilizable y puede trabajar con una amplia combinación de elementos que a su vez pueden potenciar sus propiedades de remoción (Jiang et al., 2019).

Por otro lado, el carbón activado elaborado con *Stipa ichu* tiene la finalidad de recolectar una planta oriunda del altiplano como es el ichu que forma pajonales

en la mayoría de la sierra con características adecuadas como su rápido crecimiento, abundancia y disponibilidad en el ambiente, puede llegar a medir 1.5m aproximadamente de altura, también posee tallo rígido usualmente con más de tres nudos, con pelos y sin pelos, reconocido por su capacidad de absorber metales pesados (Alvarez, 2018), a partir de esto elaborar carbón activado de manera sostenible, lo cual pasará por una serie de procesos físicos hasta ser transformado (Montero et al., 2018) para poder impregnar su superficie con hematita.

Por otro lado, la Hematita es la forma mineral del óxido férrico, es uno de los minerales naturales más abundantes con amplia capacidad para eliminar metales y metaloides, como es el caso del arsénico sobre todo en su oxidación tipo III en soluciones acuosas debido a su grado de pureza, además sus propiedades magnéticas potencian la adsorción del arsénico (Giménez et al., 2007). La hematita tiene una capacidad mayor a un 80% de eficiencia de remoción de la concentración inicial que presente la muestra de agua, además que es accesible y disponible por ser económico, puede ser sometido a procesos físicos, químicos o fisicoquímicos, pero está sujeta a un rango de pH de 6.5 a 7, rango donde trabaja adecuadamente como adsorbente y presenta los mejores resultados en remoción (Mamindy et al., 2009). siendo así, podemos entender que el carbón activado por sí solo aporta amplia gama de beneficios al momento de tratar el agua y la hematita es eficiente para remover arsénico y se presume que ambos pueden potenciar sus beneficios el uno al otro.

Entonces, la combinación de carbón activado elaborado con *Stipa ichu* y hematita es eficiente al momento de remover arsénico en el agua, debido potencia la capacidad de adsorción hacia el arsénico, incrementando el porcentaje de eficiencia, las partículas de hierro que retuvieron arsénico se depositan en la superficie interna y externa del carbón activado potenciando la remoción y su eficiencia (Ngai et al., 2006).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada porque se puso en práctica la teoría de los procedimientos físicos y químicos para poder realizar la transformación de la biomasa de *Stipa ichu* a carbón activado y la unión con hematita triturada (Arias, J. 2021).

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación fue de diseño experimental puro ya que hubo una manipulación intencional de la variable dependiente porque se evaluó distintas concentraciones finales de arsénico al probar las distintas dosis de carbón activado y hematita planteadas en los objetivos específicos.

3.2 Variables y operacionalización

La variable independiente fueron las dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita de 2ppm en una proporción 50% carbón activado y 50% hematita, 4ppm en una proporción 50% carbón activado y 50% hematita y 10ppm en una proporción 50% carbón activado y 50% hematita lo cual se empleó distintas técnicas para la creación de este material.

La variable dependiente fue la eficiencia de remoción de arsénico en agua subterránea, lo cual se empleará las dosis de carbón y hematita con la finalidad de remover arsénico sin ocasionar efectos secundarios de gran magnitud como generación de residuos o lodos (Hughes, 2002). se puede observar la operacionalización de variables en la tabla N°2

3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.3.1 Población

La investigación tuvo como población al agua subterránea de la salida Puno, Urbanización Taparachi de la provincia de San Román contaminada por arsénico.

Criterios de inclusión: La amplia evidencia respecto a antecedentes como la investigación de Huaracha et al., (2020) determinaron la concentración de arsénico en diversas partes de la provincia de San Román, obteniendo como resultado las mayores concentraciones de arsénico fueron en Salida puno, además esta zona no tiene acceso a la distribución del agua potable de la EPS correspondiente, obligados a utilizar pozos tubulares.

Criterios de exclusión: existen diversas zonas con concentraciones de arsénico que supera el valor establecido por la OMS, pero se excluye a esa población puesto que su fuente de abastecimiento para satisfacer sus necesidades básicas es el agua potable distribuido por la EPS correspondiente.

3.3.2 Muestra

La investigación tuvo como muestra la toma de 04 litros de agua subterránea contaminada con arsénico, cada litro depositado en un distinto frasco acaramelado que se obtuvo de un pozo tubular ubicado en la urbanización Taparachi en la salida Puno de la ciudad de Juliaca con las siguientes coordenadas:

Latitud	-15.527003 S 15°31'37.21116"
Longitud	-70.103800 W 70°6'13.68072"

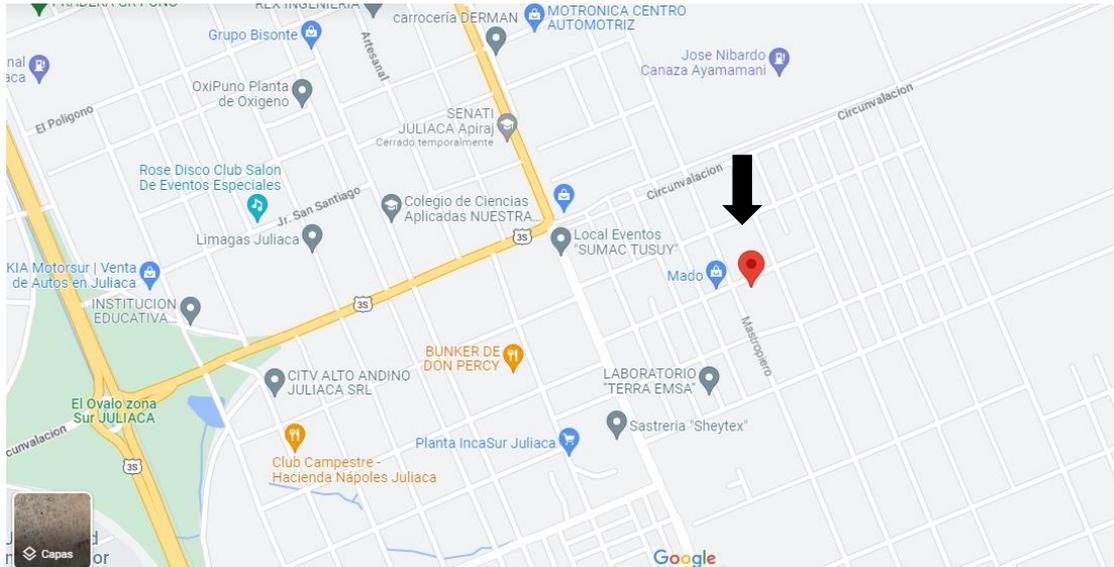


Figura 2. Ubicación del punto de muestreo.

3.3.3 Muestreo

Se utilizó el diseño de muestreo probabilístico aleatorio simple *in situ* para las muestras de agua subterránea, donde se siguió el procedimiento detallado por (Herrera et al., 2014) para la toma de muestra de la cual se determinó la cantidad de arsénico presente en la muestra de agua subterránea para después realizar las pruebas con 01 muestra en blanco donde se probó la eficiencia del carbón activado de *Stipa ichu* y las 03 dosis distintas planteadas en los objetivos específicos de 2ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita, 4ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita y 10ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita.

01 litro de agua que representa a una unidad experimental producto de las repeticiones por tratamiento.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación utilizó la técnica de la observación debido a que este procedimiento se realizó en un laboratorio contratado de la universidad nacional de altiplano “laboratorio de agua y suelos” por medio de la técnica de espectrometría de absorción atómica, donde se determinó la concentración inicial, final, y removida de arsénico en la muestra de agua (Martínez et al., 2005).

Instrumentos de recolección de datos

En la investigación se utilizó instrumentos como la estufa eléctrica, mufla eléctrica para procesar la materia prima de *Stipa ichu* y transformarlos a un carbón activado, la balanza de laboratorio para medir las tres (03) dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita en las proporciones de 2ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita, 4ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita y 10ppm de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita, el espectrómetro de absorción atómica para determinar la concentración de arsénico en una muestra de agua de manera precisa, en tiempo breve y con resultados confiables (Tito, 2021),

3.5. Procedimientos

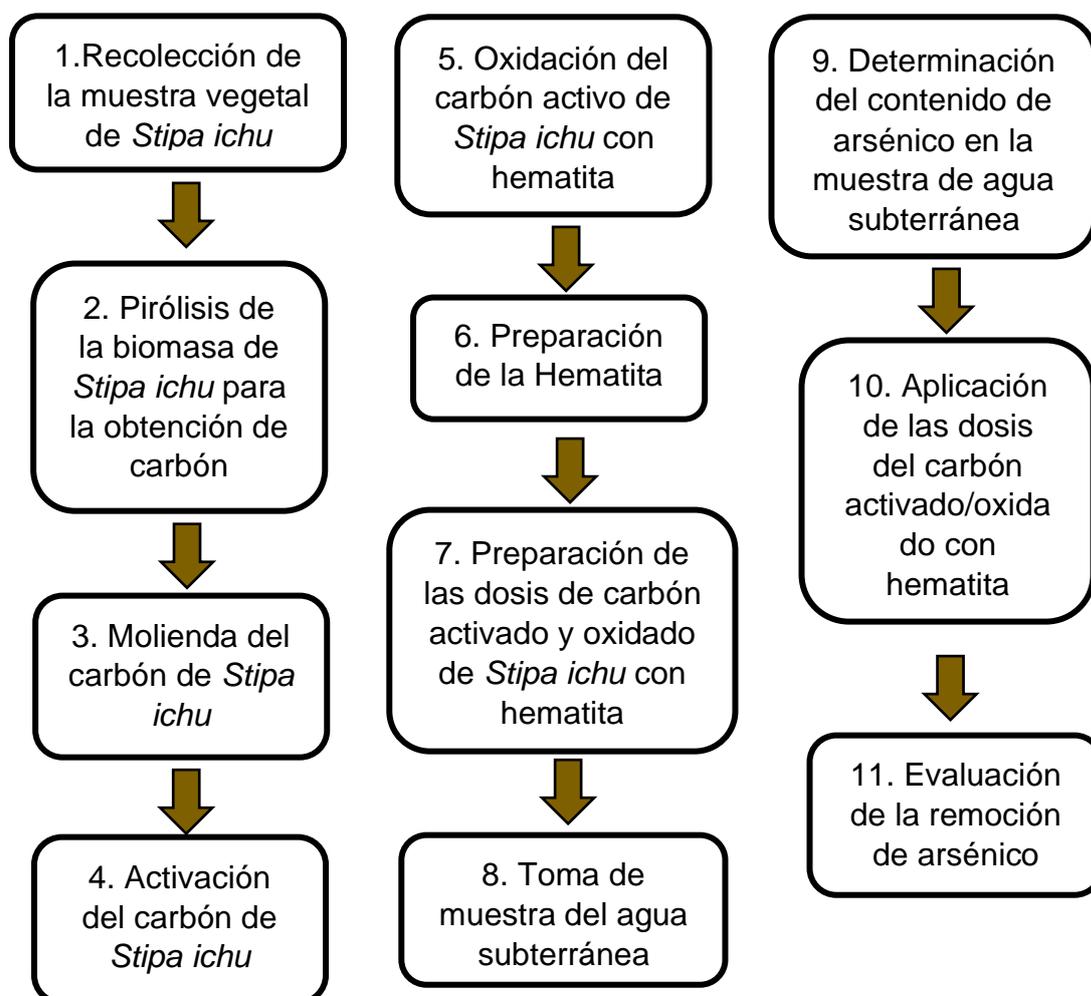


Figura 3. Procedimientos.

Etapa 1.

Primero, se recolectó muestra vegetal de *Stipa ichu* de buena apariencia en áreas públicas al azar en el exterior de la ciudad ya que esta planta crece en la mayoría de la ciudad, se seleccionó el material de otras especies vegetales, luego se realizó el lavado con agua potable para eliminar impurezas y secado al aire libre con un volteo frecuente para eliminar la humedad de manera homogénea.



Figura 4. *Stipa ichu* en áreas públicas de la ciudad.



Figura 5. Recolección aleatoria del *Stipa ichu*.

Una vez recolectada la muestra aleatoria se realizó la selección de la muestra vegetal de *Stipa ichu* de otras especies, malezas o residuos que no fueron de nuestro interés, después fueron lavadas con agua potable para eliminar impurezas y se dejó secar al aire libre.



Figura 6. Selección de impurezas y otras especies vegetales de la muestra de *Stipa ichu*.



Figura 7. Lavado de la muestra de *Stipa ichu*.

Etapa 2.

La muestra seleccionada fue transportada al laboratorio de agua y suelos que está ubicada en la escuela profesional de ingeniería agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano, en lo cual se realizó la transformación de biomasa a carbón mediante pirólisis en una mufla iniciando a 80°C elevando la temperatura progresivamente por 48 horas (Montero et al., 2018). Además, se tomó datos de la materia prima para determinar la humedad.



Figura 8. muestra de *Stipa ichu* en el laboratorio de agua y suelos ubicada en la ciudad de Puno.



Figura 9. Selección de la biomasa para la determinación de humedad.



Figura 10. Instrumento para el pirólisis de la biomasa.

Una vez obtenido el carbón activado se procedió a realizar la molienda de este por medio de la trituración con un mortero hasta lograr tamaños inferiores o iguales a 0.06mm (Rojas, 2020)-



Figura 11. Molienda del carbón de Stipa ichu.

Etapa 4.

De la muestra anterior se seleccionó 50g aleatorios y pasó por un proceso de lavado con agua destilada para regular el pH a básico, luego se realizó la activación por medio de procesos físicos utilizando el horno mufla hasta llegar a una temperatura de 450°C durante dos horas para posteriormente dejarlo enfriar

a temperatura ambiente y fue reservado para su uso posterior (Montero et al., 2018).



Figura 11. Activación del carbón.

Etapa 5

A la muestra reservada de carbón activado se realizó la oxidación por medio una mezcla de ácido nítrico/sulfúrico a una concentración de 3M, por cada gramo de carbón molido se adicionó 2ml de la disolución y se mezcló por medio de la agitación después se realizó la filtración y se enjuagó con agua destilada para regular el pH, por último, se dejó secar en la mufla durante 30 minutos a 550°C y fue reservado para su posterior uso (Cheng, et al., 2007).



Figura 12. Preparación de los reactivos para la oxidación.



Figura 13. Oxidación del carbón activado.



Figura 14. Secado del carbón oxidado.

Etapa 6.

Una vez activado y oxidado el carbón de *Stipa ichu* se reservó y se procedió a trabajar con la hematita en la cual se trituró, se pesó y se lavó con agua destilada en un vaso precipitado de 250ml para eliminar impurezas seguidamente se agitó hasta formar una solución estable y se reservó (Whang et al., 2015).

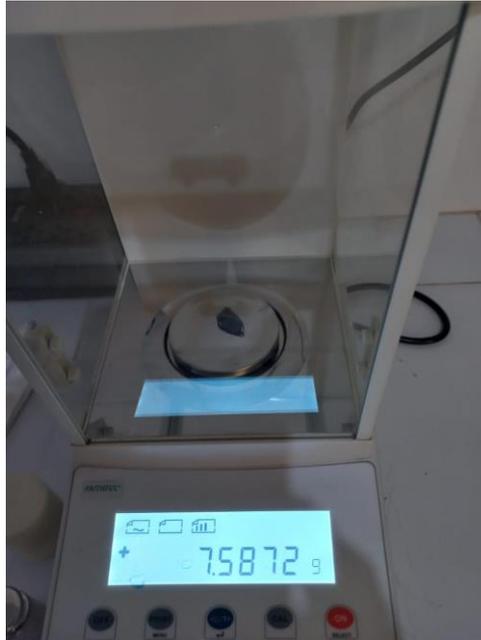


Figura 15. Pesaje del mineral.

Etapa 7

En esta etapa se realizó la preparación de las dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita triturada, a la muestra mencionada en la etapa 6 se agregó el carbón oxidado previamente pesado en la balanza analítica según las dosis planteadas de 2g, 4g y 10g, seguidamente se agitó para homogeneización durante 2 horas, se secó en la estufa a 80°C y se reservó para su uso posterior (Whang et al., 2015).



Figura 16. Pesaje del carbón activado con hematita triturada.



Figura 17. Secado del carbón con hematita.

Etapa 8

En esta etapa se ubicó el lugar de muestreo y junto con el especialista nos dirigimos al lugar del muestreo para la toma de muestra ubicado en la ciudad de Juliaca en salida puno en la urbanización San Crispín, en lo cual se confirmó que la población de esta zona no tiene agua potable y su recurso hídrico para abastecer las necesidades básicas procede de pozos tubulares, el especialista se encargó de recolectar las muestras según el protocolo para muestreo de metales en agua (NMX-AA-051-SCFI-2001), utilizó envases acaramelados para la recolección de 04 litros de agua subterránea en distintos envases llenados hasta el tope, lo cual estas muestras evitaron el contacto con el sol, la influencia de la temperatura resguardados en un cooler y fueron transportados a laboratorio de inmediato para evitar la alteración de sus parámetros (Alarcón et al., 2013).



Figura 18. Ubicación de la zona de muestreo.



Figura 19. Ubicación del punto de muestreo.



Figura 20. Bomba de agua conectada a la capa freática.



Figura 21. Toma de muestra por el especialista.



Figura 22. Resguardo de las muestras tomadas.

Etapa 9.

Una vez tomadas las muestras se procedió a transportarlas en un cooler a la ciudad de Puno al laboratorio de calidad de agua y suelos donde se determinará la concentración inicial de arsénico de la muestra contaminada por medio del espectrometro de absorción atómica (Rosales et al., 2013).



Figura 23. Recepción de las muestras de agua subterránea en el laboratorio de agua y suelos.

Etapa 10.

Por último, se realizó la aplicación de las dosis, se utilizó las muestras en reserva de carbón oxidado de *Stipa ichu* y hematita donde se puso en contacto con la muestra de agua contaminada por arsénico, utilizando una (01) muestra de agua por cada dosis para la evaluación correspondiente a la eficiencia de remoción de arsénico de las tres (03) dosis de carbón/hematitas planteados en los objetivos específicos.



Figura 24. Filtración del agua subterránea por las dosis de carbón con hematita.



Figura 25. Filtración final para llevar a analizar la nueva concentración.

Etapas 11.

En esta etapa se obtuvo los resultados después de aplicar las dosis planteadas en los objetivos específicos obteniendo resultados favorecedores en lo cual se comprueba que el porcentaje de remoción fue sumamente alto comprobando la eficacia de nuestro carbón activado de *Stipa ichu* combinado con hematita triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRICOLA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

RESULTADO DE ANÁLISIS

DATOS DEL CLIENTE A SOLICITUD DE ASUNTO : CHIRINOS TRUJILLO NATALY MILUSKA
: Determinación Analítica del contenido Metálico de arsénico

PROCEDENCIA : Total en la muestra
FUENTE : Urbanización San Crispín – Taparachi – Salda Puno
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA : Muestra de agua subterránea de pozo tubular
: Frasco acaramelado (1 litro) por muestra

ENSAYO : Análisis Químico - Elemento Arsénico (As)
PROYECTO : EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO DE STIPA ICHU Y HEMATITA - LINEA DE INVESTIGACIÓN CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.

COORDENADAS : Latitud: -15.527003 S 15°31'37.21116"
Longitud: -70.103800 W 70°6'13.68072"

ALTITUD : 3824 m.s.n.m.
RECEPCION DE MUESTRAS : 03/02/2023
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 03/02/2023

RESULTADO DE ENSAYO – ANALISIS DE METALES (ARSÉNICO As)

Fecha de Muestreo	Unidad	03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023
Nombre de Muestra		Muestra Inicial – Sin tratamiento	Filtrado con Carbón Activado	Muestra 01 de carbón activado y hematita	Muestra 02 de carbón activado y hematita	Muestra 03 de carbón activado y hematita
Parámetro		Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
007 ENSAYOS DE METALES – Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica						
Dosis	g/L	---	10	2	4	10
Arsénico (As)	mg/L	0,1205	0,011	0,0092	0,0075	0,0041

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Figura 26. Hoja de resultados emitido por el laboratorio de calidad de agua y suelos de la Universidad Nacional del altiplano.

3.6. Método de análisis de datos

Tabla N°2. Características Físicas de las muestras de agua subterránea sin tratamiento.

Parámetros físicos				
Muestras	pH	Conductividad Eléctrica	pH recomendado (D.S.004-2017MINAM)	Conductividad Eléctrica recomendada (D.S.004-2017MINAM)
Muestra 01	7.73	0.87	6.5	1.1mS/cm
Muestra 02	7.79	0.78	7.5	1.3mS/cm
Muestra 03	7.86	0.77	9	1.6mS/cm

Se realizó la comparación con el estándar de calidad agua del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Correspondiente a la categoría 1 que es para uso poblacional donde los valores de pH oscilan en un rango de 6.5 a 9, los registros de los valores de pH en las muestras no exceden este valor, respecto a la conductividad eléctrica también se realizó la comparación con el estándar de calidad agua del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Correspondiente a la categoría 1 donde los valores de C.E. oscilan en un rango de 1.1mS/cm a 1.6mS/cm, los valores de C.E. en las muestras están por debajo de este rango

Tabla N°3. Humedad y cenizas del carbón activado de *Stipa ichu*.

humedad y cenizas del carbón activado			
Determinación	Unidad	Equipo	Resultados
Humedad	%	Estufa eléctrica	48.5
Cenizas	%	Mufla eléctrica	6.38

Para determinar el valor de humedad en el carbón activado se necesitó los siguientes valores:

Peso de la luna reloj vacío = 104.098g

Peso de la muestra humedad =118.819g

Peso de la luna reloj + muestra seca =165.283g

Por consiguiente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} \equiv \frac{\text{perdida de peso (g)}}{\text{peso de la muestra no tomada (g)}} \times 100$$

$$\text{Humedad (\%)} \equiv 48.5$$

Para determinar el valor de las cenizas se necesitó los siguientes valores:

Peso del crisol vacío (PCV) = 30.589g

Peso de la muestra (PM) = 2.376g

Peso del crisol + muestra de ceniza = 30.740g

Por consiguiente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas solubles en agua} = \% \text{ cenizas totales} - \% \text{ cenizas insolubles}$$

$$\% \text{ cenizas solubles en agua} = 6.38$$

Tabla N°4. Remoción de arsénico

N° de muestra	Concentración inicial de arsénico	Dosis de carbón activado y hematita	Concentración final de arsénico	Concentración removida de arsénico	Porcentaje de Remoción
0	0.1205mg/l	10g/l (carbón activado)	0.011mg/l	0.1095mg/l	90.87%
1	0.1205mg/l	2g/l	0.0092mg/l	0.1113mg/l	92.36%
2	0.1205mg/l	4g/l	0.0075mg/l	0.113mg/l	93.78%
3	0.1205mg/l	10g/l	0.0041mg/l	0.1164mg/l	96.60%

Para determinar el porcentaje de la remoción se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Dónde:

C_i: Concentración inicial de arsénico (mg/l)

C_f: Concentración final de arsénico (mg/l)

Obteniendo los resultados expresados en la tabla número 4.

3.7. Aspectos éticos

Este proyecto de investigación se realizó con autenticidad, honestidad y veracidad aplicando el código de ética que promueve la Universidad César Vallejo, respetando las investigaciones anteriores, que enriquecieron de información positiva a nuestra hipótesis con información clara y confiable, otorgando el debido respeto a la propiedad intelectual, citándolos de manera correcta, utilizando como guía el contenido de la resolución del vicerrectorado de investigación N°011-2020-VI-UCV por la obtención del título profesional.

IV. RESULTADOS

Tabla N°5. Variación del pH final de las muestras de agua subterránea.

Variación del pH		
N° de muestra	pH inicial	pH final
1	7.73	7.38
2	7.79	7.46
3	7.86	7.47

En la tabla número 5 se observa que no hubo variación significativa en los valores del pH de las muestras de agua contaminadas por arsénico después de ser tratadas por el carbón activado de *Stipa ichu* y hematita triturada, estos valores se encuentran dentro del rango establecido por el D.S. 007 N°004-2017-MINAM, la importancia del pH se debe a que la hematita remueve de manera eficiente dentro de un rango de 6 a 8.

Gráfico 1. Variación del pH inicial y el pH final de las muestras de agua subterránea.

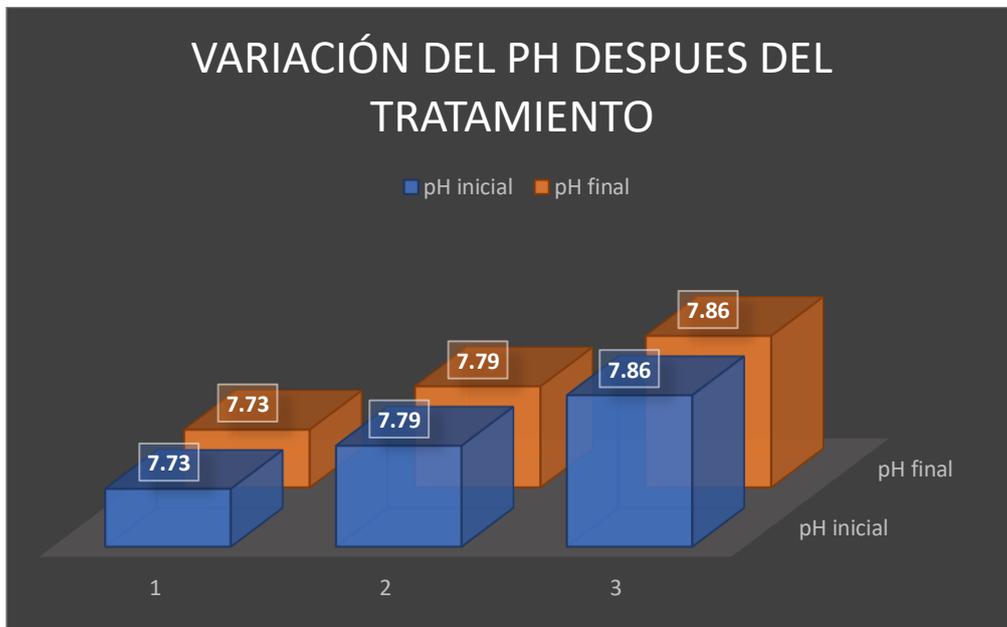


Tabla N°6. Resultados de la variación de la conductividad eléctrica después del tratamiento.

Variación de la C.E.		
N° de muestra	C.E. inicial (mS/cm)	C.E. final (mS/cm)
1	0.87	0.98
2	0.78	0.94
3	0.77	0.89

En la tabla número 6 se observa los valores de la conductividad eléctrica de nuestras muestras de agua contaminadas por arsénico antes y después del tratamiento de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita, donde se observa que hubo un aumento en la C.E. pero se encuentra por debajo del rango establecido por valores se encuentran dentro del rango establecido por el D.S. 007 N°004-2017-MINAM, pero no representa efectos negativos a los resultados ya que al ser un recurso prácticamente estático tiene conductividad baja.

Gráfico 2. Variación de la conductividad eléctrica de las muestras de agua subterránea.

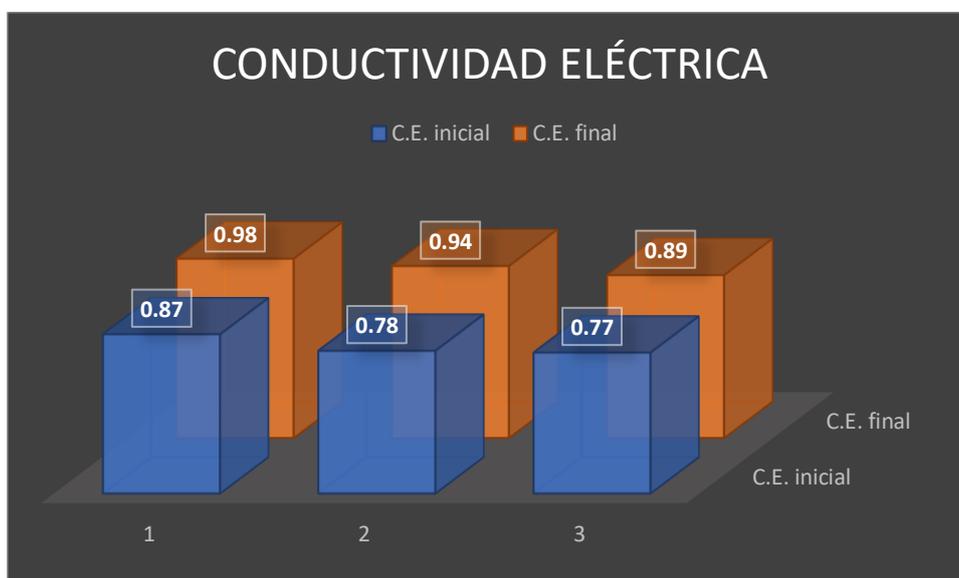


Tabla N°7. Resultados de humedad y cenizas del carbón activado de *Stipa ichu*.

Resultados de humedad y cenizas del carbón activado			
Determinación	Unidad	Equipo	Resultados
Humedad	%	Estufa eléctrica	48.5
Cenizas	%	Mufla eléctrica	6.38

En la tabla número 7 se observa los resultados de los porcentajes de humedad y cenizas emitidos por el laboratorio de agua y suelos, en lo cual Sevilla, U. (2011) indica que a menor porcentaje de humedad mayor capacidad de adsorción tendrá el carbón en lo cual pudo ser una deficiencia al momento de remover arsénico, además indica que el porcentaje adecuado de cenizas es de 5 a 10% en la composición total del carbón activado en lo cual los resultados están dentro de este rango sugerido.

Tabla N°8. Resultados de la remoción de arsénico con las distintas dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita triturada.

N° de muestra	Concentración inicial de arsénico	Dosis de carbón activado y hematita (50%-50%)	Concentración final de arsénico	Concentración removida de arsénico	Porcentaje de Remoción
0	0.1205mg/l	10g/l (carbón activado)	0.011mg/l	0.1095mg/l	90.87%
1	0.1205mg/l	2g/l (50% C.A. 50% hematita)	0.0092mg/l	0.1113mg/l	92.36%
2	0.1205mg/l	4g/l (50% C.A. 50% hematita)	0.0075mg/l	0.113mg/l	93.78%

3	0.1205mg/l	10g/l (50% C.A. 50% hematita)	0.0041mg/l	0.1164mg/l	96.60%
---	------------	--	------------	------------	--------

En la tabla número 8 se observa el porcentaje de remoción que se obtuvo a partir de poner en contacto cada una de las dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita en las muestras contaminadas de agua subterránea en el cual se observa que se obtuvo un 90.87% de eficiencia de remoción del arsénico solo con el carbón activado de *Stipa ichu* previamente activado y oxidado, además el mayor porcentaje de remoción fue de 96.6% de eficiencia con la dosis de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita de 10g/l siendo el más eficiente removiendo 0.1164mg/l de un litro de agua subterránea contaminada por arsénico.

Gráfico 1. Porcentaje de remoción en las muestras de agua.

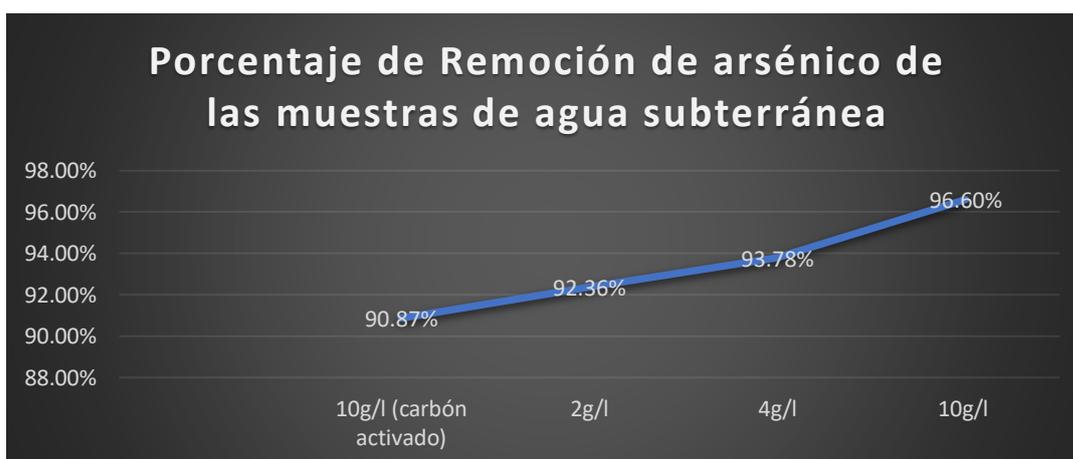
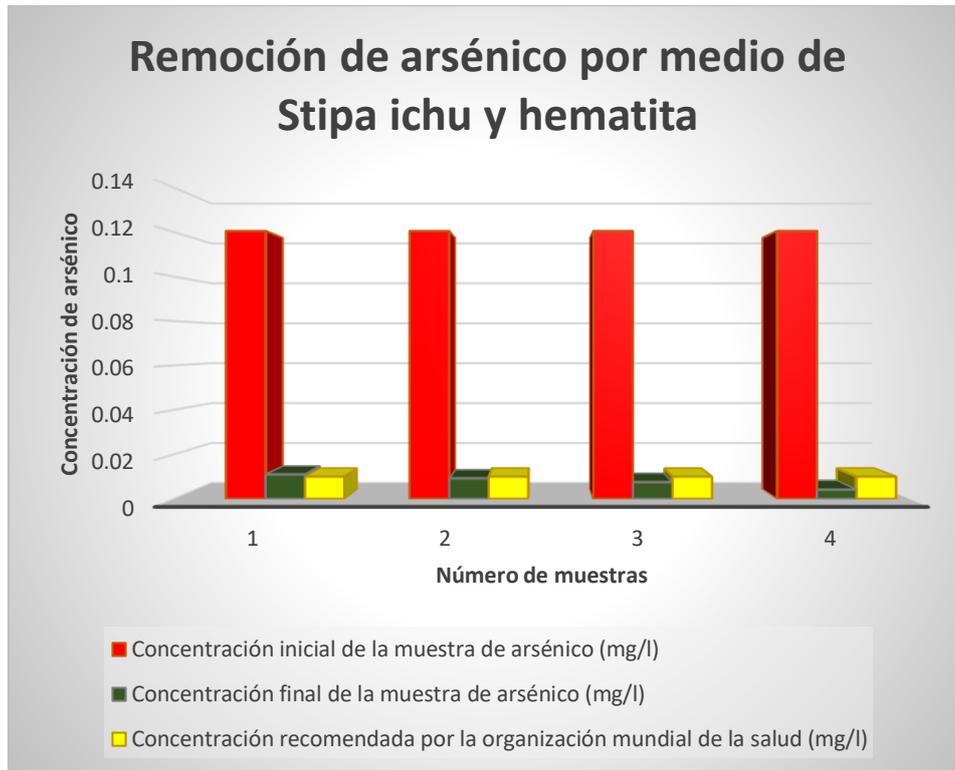


Tabla N°9. Cuadro comparativo de las concentraciones de arsénico encontradas y las concentraciones recomendadas por la OMS.

Concentración inicial de la muestra de arsénico (mg/l)	Concentración final de la muestra de arsénico (mg/l)	Concentración recomendada por la organización mundial de la salud (mg/l)
0.1205	0.011	0.01
0.1205	0.0092	0.01
0.1205	0.0075	0.01

0.1205	0.0041	0.01
--------	--------	------

Gráfico 2. Comparación de las concentraciones de arsénico.



Se observa la concentración inicial de la muestra de agua subterránea contaminada por arsénico representada de color rojo, también se observa las concentraciones finales después de pasar por el tratamiento de carbón activado de *Stipa ichu* y hematita de color plomo y por último se observa la concentración recomendada por la organización mundial de la salud de color amarillo, lo cual la concentración final de todas nuestras muestras se encuentra por debajo del valor recomendado, de tal manera que podemos afirmar que el carbón activado de *Stipa ichu* y hematita es eficiente además de que se encuentra disponible en la localidad.

V. DISCUSIÓN

El uso del carbón activado de restos orgánicos como *Stipa ichu* resultó ser más económico e igual o más eficiente que los carbones comerciales como lo mencionó Montero et al. (2018) ya que consiguió un 85% de eficiencia de remoción de arsénico en una muestra agua subterránea de igual manera sucedió con Wei et al. (2019) que utilizó restos orgánicos para realizar carbón activado y redujo costos a comparación de los carbones comerciales bajo la recomendación de monitorear el pH, gracias a esta información utilizamos plantas que se encuentren disponibles y que no produzcan gastos más allá de la pirolisis, activación y oxidación.

Se realizó la oxidación química para obtener mejores resultados ya que Chen et al. (2007) indicaron que la oxidación química tuvo mejores resultados que la oxidación física y tomamos la sugerencia de realizar una combinación de ácido sulfúrico y ácido nítrico para activar nuestra muestra de carbón de *Stipa ichu* obteniendo resultados favorecedores.

En caso de la hematita fue económicamente factible y el procedimiento para su utilización fue sencillo más allá de la trituración y homogenización como indicó Wang et al. (2015) que obtuvo un 88.5% de eficiencia de remoción de arsénico en una muestra de agua subterránea utilizando carbón activado de pino y hematita.

Tanto para el carbón activado de *Stipa ichu* y la hematita se utilizó los tamaños inferiores ya que antecedentes como el de Yurum et al. (2014) indicaron que la granulometría es muy importante al momento de la adsorción del arsénico en los poros de carbón y en la superficie de la hematita u óxido de hierro.

Al momento de realizar el procedimiento para agregar las dosis hubo un constante monitoreo al pH ya que es muy importante que este no varíe de un rango de 6 a 8, ya que, estudios como el de Wang et al. (2015) y de Yurum et al. (2019) indicaron que el porcentaje de eficiencia depende en su mayoría al rango de pH con el que se trabaje ya que la hematita es un mineral que requiere un pH básico ligeramente alcalino.

Se comprobó que la eficiencia del carbón activado combinado con óxido de hierro es elevada, además es factible de realizar y es económico de elaborar.

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó una prueba en blanco donde se puso a prueba 10g de carbón previamente activado y oxidado de *Stipa ichu* en un litro de muestra de agua subterránea contaminada por arsénico donde se comprobó la eficiencia obteniendo un 90% de remoción.
2. Se comprobó la eficiencia con la dosis de 2ppm en una proporción de 50% carbón previamente activado y oxidado de *Stipa ichu* y 50% hematita triturada, donde se obtuvo 92% de eficiencia de remoción de arsénico con una concentración final de 0.0092mg/l lo cual se encuentra por debajo de la recomendación de la organización mundial de la salud de 0.01mg/l.
3. Se comprobó la eficiencia con la dosis de 4ppm en una proporción de 50% carbón previamente activado y oxidado de *Stipa ichu* y 50% hematita triturada, donde se obtuvo 94% de eficiencia de remoción de arsénico con una concentración final de 0.0075mg/l lo cual se encuentra por debajo de la recomendación de la organización mundial de la salud de 0.01mg/l.
4. Se comprobó la eficiencia con la dosis de 10ppm en una proporción de 50% carbón previamente activado y oxidado de *Stipa ichu* y 50% hematita triturada, donde se obtuvo 97% de eficiencia de remoción de arsénico con una concentración final de 0.0041mg/l lo cual se encuentra por debajo de la recomendación de la organización mundial de la salud de 0.01mg/l, siendo esta, la dosis más eficiente en la cual se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de arsénico.
5. Se confirmó la necesidad de implementar sistemas de tratamiento que remuevan las concentraciones de arsénico presentes en el agua subterránea, ya que esa parte de la ciudad no tiene ningún acceso al agua potable, incluso desconocen que consumen agua contaminada.
6. Así se concluye que, existe un peligro latente entre la población que consume agua de pozos tubulares de desarrollar enfermedades mortales por la falta de tratamientos que sean disponibles y/o accesibles al momento de remover arsénico de manera eficiente, ya que la

concentración inicial fue de 0.1205mg/l lo cual es un valor por encima de lo recomendado por la organización mundial de la salud de 0.01mg/l.

7. Se concluye que existe un porcentaje elevado y superior del 90% al momento de remover arsénico utilizando carbón activado de *Stipa ichu* y hematita triturada, lo cual puede ser adaptado para cada vivienda con la finalidad de reducir ese peligro en el cual se encuentra la población al momento de su consumo directo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda extender la investigación de las propiedades de adsorción del carbón activado de *Stipa ichu* y así potenciar el porcentaje de remoción.
2. Se recomienda investigar carbones a base de plantas oriundas y que se encuentren disponibles en la localidad para reducir costos y hacerlo más factible su aplicación entre la población que lo necesita.
3. Se recomienda oxidar los carbones con ácido nítrico, ácido sulfúrico o cloruro de zinc ya que son oxidantes que potencian la porosidad del carbón aumentando la adsorción.
4. Se recomienda disminuir el porcentaje de humedad del carbón activado de *Stipa ichu*, que, a pesar de ello se consiguió más del 90% de remoción de arsénico, por ende, al disminuir el porcentaje de humedad aumentará el porcentaje de remoción ya que incrementará la adsorción sobre la superficie del carbón.
5. Se recomienda realizar un monitoreo constante del pH ya que fue un parámetro fundamental para que el carbón activado de *Stipa ichu* y hematita funcione de manera correcta y potencie su eficiencia de remoción.
6. Se confirmó la necesidad de implementar sistemas de tratamiento que remuevan las concentraciones de arsénico presentes en el agua subterránea.

REFERENCIAS

- Alvarez Huayllani, B. S. (2018). *Absorción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) en suelos contaminados a través del Stipa ichu en condiciones normales y mejoradas en el distrito de Huachocolpa-Huancavelica 2018* obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60176>
- Arcibar-Orozco, JA, Josue, DB, Rios-Hurtado, JC, & Rangel-Mendez, JR (2014). *Influence of iron content, surface area and charge distribution in the arsenic removal by activated carbons* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894714003854>
- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* obtenido de <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>
- Asfaram, A., Ghaedi, M., Hajati, S., Goudarzi, A., & Dil, E. A. (2017). *Screening and optimization of highly effective ultrasound-assisted simultaneous adsorption of cationic dyes onto Mn-doped Fe₃O₄-nanoparticle-loaded activated carbon* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417716301535>
- Badii, M. H., Rodríguez, M. C., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). *Diseños experimentales e investigación científica. Innovaciones de negocios* obtenido de <https://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/190/176>
- Budinova, T., Savova, D., Tsyntsarski, B., Ania, CO, Cabal, B., Parra, JB y Petrov, N. (2009). *Biomass waste-derived activated carbon for the removal of arsenic and manganese ions from aqueous solutions* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433208024604>
- Chang, Q., Lin, W. y Ying, WC (2010). *reparation of iron-impregnated granular activated carbon for arsenic removal from drinking wáter* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410010824>

- Chen, W., Parette, R., Zou, J., Cannon, F. S., & Dempsey, B. A. (2007). *Arsenic removal by iron-modified activated carbon*. *Water research* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135407000565>
- Condori, E. (2019). *Capacidad de Adsorción del Carbón activado obtenido a partir de Lemna Gibba (Lenteja de Agua) frente a disoluciones Acuosas de Arsénico (As)* obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4189>
- Cruz, GJ, Mondal, D., Rimaycuna, J., Soukup, K., Gómez, MM, Solis, JL, & Lang, J. (2020). *Agrowaste derived biochars impregnated with ZnO for removal of arsenic and lead in water* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720301482>
- Daus, B., Wennrich, R., & Weiss, H. (2004). *Sorption materials for arsenic removal from wáter* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135404001678>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017) *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ferreccio, C., González, C., Milosavjlevic, V., Marshall, G., Sancha, A. M., & Smith, A. H. (2000). *Lung cancer and arsenic concentrations in drinking water in Chile* obtenido de <https://www.jstor.org/stable/3703821>
- Fierro, V., Muñiz, G., Gonzalez-Sánchez, G., Ballinas, M. L., & Celzard, A. (2009). *Arsenic removal by iron-doped activated carbons prepared by ferric chloride forced hydrolysis* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S03043894090002489>
- Galindo, G., Fernández, J., Parada, M., y Gimeno, D. (2005). *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento* obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf

- Garrido-Hoyos, S., & Romero-Velázquez, L. (2016). *Synthesis of minerals with iron oxide and hydroxide contents as a sorption medium to remove arsenic from water for human consumption* obtenido de <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/1/69>
- George, C. M., Sima, L., Arias, M., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D. & Gilman, R. H. (2014). *Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru* obtenido de <https://www.scielo.org/article/bwho/2014.v92n8/565-572/en/>
- Gimenez, J., Martínez, M., Pablo, J., Rovira, M., & Duro, L. (2007). *Absorción de arsénico en hematita, magnetita y goethita naturales* obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/237/2/022049/pdf>
- Gu, Z., Fang, J. y Deng, B. (2005). *Preparation and evaluation of GAC-based iron-containing adsorbents for arsenic removal* obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es048179r>
- Herrera, M., y Martin, I., (2014). *Arsénico en agua: Presencia, cuantificación analítica y mitigación* obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Hossain, I., Anjum, N. y Tasnim, T. (2016). *Removal of arsenic from contaminated water utilizing tea waste* obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-0932-4>
- Huaracha Astete, J. A., & Quispe Flores, L. (2020). *Determinación de la concentración de arsénico en aguas subterráneas en las salidas: Puno, Lampa y Arequipa de la ciudad de Juliaca* obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3321/Josue_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hughes, M. F. (2002). *Arsenic toxicity and potential mechanisms of action* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037842740200084X>

- Jiang, C., Cui, S., Han, Q., Li, P., Zhang, Q., Song, J., & Li, M. (2019). *Study on application of activated carbon in wáter* obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/237/2/022049/pdf>
- Kim, HC, Lee, CG, Park, JA y Kim, SB (2010). *Arsenic removal from water using iron-impregnated granular activated carbon in the presence of bacteria* obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10934520903429832>
- Mamani, W. (2019). *Determinación de la concentración de Arsénico (As) total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación* obtenido de <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/8865/UPDmanaw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mamindy-Pajany, Y., Hurel, C., Marmier, N., & Roméo, M. (2011). *Arsenic (V) adsorption from aqueous solution onto goethite, hematite, magnetite and zero-valent iron: effects of pH, concentration and reversibility* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411006606>
- Martinez, L. y Gasquez, J., (2005). *Determinación de arsénico en aguas* obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/177-Determinacion_arsenico.pdf
- Mohan, D. y Pittman Jr., CU (2007). *Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—a critical* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407000349>
- Mondal, P., Balomajumder, C. y Mohanty, B. (2007). *Laboratory study for the treatment of arsenic, iron, and manganese bearing ground water using Fe³⁺ impregnated activated carbon: effects of shaking time, pH and temperature* obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389406012775?fbclid=IwAR2f5Rqf1aXOQxLPcZ-pZzpQTbpmLImjDOPya6tFqkpc-noVQH_ZEUoy3Gw

- Mondal, P., Majumder, C. B., & Mohanty, B. (2008). *Effects of adsorbent dose, its particle size and initial arsenic concentration on the removal of arsenic, iron and manganese from simulated ground water by Fe³⁺ impregnated activated carbon*. *Journal of Hazardous Materials* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438940700739X>
- Montero, J., Monteiro, A., Gontijo, E., Bueno, C., de Moraes, M. y Rosa, A. (2018). *High efficiency removal of As (III) from waters using a new and friendly adsorbent based on sugarcane bagasse and corncob husk Fe-coated biochars* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318306377>
- Muongpak, M., Khaodhiar, S. y Lohwacharin, J. (2017). *on oxide coated activated carbons for arsenate adsorption from groundwater* obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60580374/THA2017_Full_paper_Manavanh20190913-13453-161bfq2-libre.pdf?1568369774=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIron_oxide_coated_activated_carbons_for.pdf&Expires=1673361680&Signature=Tpv2mWpQxQj8XaBdEygt eCBJQQinqnx6cBpYW4NWHoPyZrDGVPCvp-z1nka hhiAH6d~iBWBdTbUDpeBQFSwLKGSVvOMoURLqUMI44b20qtNiM5p6NIVshM-1IBKn00t9NgXSLFsS3AHTTmsgl2fKfNg3Grzhlc1WDwvVrxd7ALE7ZzBwPbhpUWV8oEUIZ4Xum2NGwOSGs~vWtfeuZ2sg9MLOQf38~hGVRVP3Grey~3tyl59H2wBkHPSXI7I8G-hWg6IUhx E1kqT42kd2~GN6ZwNln4uiH0LsEGQFBH4oHur86W7s-27hjsZ-r-TttF7ox1MSR-sSN4WpjQdC85Ckw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Ngai, SSY (2006). *Service-learning, personal development, and social commitment: a case study of university students in Hong Kong* obtenido de <https://eduso.net/res/revista/29/miscelanea/beneficios-de-la-aplicacion-de-la-metodologia-de-aprendizaje-servicio-una-experiencia-en-bachillerato>

- Ngai, TKK, Murcott, S., Shrestha, RR, Dangol, B. y Maharjan, M. (2006). *Development and dissemination of Kanchan Arsenic Filter in rural Nepal* obtenido de <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/6/3/137/26161/Development-and-dissemination-of-KanchanT-Arsenic>
- Nieto-Delgado, C., & Rangel-Mendez, J. R. (2012). *Anchorage of iron hydro (oxide) nanoparticles onto activated carbon to remove As (V) from wáter* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412001893>
- Pan, YF, Chiou, CT y Lin, TF (2010). *Adsorption of arsenic (V) by iron-oxide-coated diatomite (IOCD)* obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-010-0325-z>
- Pawar, RR, Kim, M., Kim, JG, Hong, SM, Sawant, SY y Lee, SM (2018). *Efficient removal of hazardous lead, cadmium, and arsenic from aqueous environment by iron oxide modified clay-activated carbon composite beads* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131718302680>
- Rojas, K. (2020). *Evaluation of the efficiency of arsenic removal in water with activated carbon from jícaro sabanero (Crescentia alata) and its combination with iron oxides* obtenido de <https://www.lamjol.info/index.php/torreon/article/view/9724/11097>
- Rosales-Rimache, J. A., Elizabeth Malca, N., Alarcón, J. J., Chávez, M., & Gonzáles, M. A. (2013). *Genotoxic damage among artisanal and small-scale mining workers exposed to mercury* obtenido de <https://www.scielo.org/pdf/rpmesp/2013.v30n4/595-600/es>
- Sahu, N., Singh, J. y Koduru, JR (2021). *Removal of arsenic from aqueous solution by novel iron and iron–zirconium modified activated carbon derived from chemical carbonization of Tectona grandis sawdust: Isotherm, kinetic, thermodynamic and breakthrough curve modelling* obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00139351210072>

58

Sandoval, R., Cooper, AM, Aymar, K., Jain, A. y Hristovski, K. (2011). *Removal of arsenic and methylene blue from water by granular activated carbon media impregnated with zirconium dioxide nanoparticles* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S03043894110094>
23

Sevilla, U. (2011). *Manual del carbón activo* obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38924321/Manual_del_carbon_activo-libre.pdf?1443500388=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DManual_del_Carbon_Activo_1.pdf&Expires=1676486126&Signature=Kw5lacqZRv8fMVOPyKgfl-rXgJCTQXF-7G2RxG2BFOvxpxKWq-BsSJUISOTJbgOYrpzlvGqYpZavrJomglvtJEgELsxOkd7v2qzIHFZYQutR7fDymYJEU8vfHChIEnmUrL7NFzFMgC2yUFRtDv0o2Otre7W8-CJmeKwgWqSXu2Czk0CNg7pzl18JrOl2GOMrOCiGfaxSgFMnGRnij7Kg vVhFA4Aw7BZ-XaokHx8dvB19OjOy51szDgy17Hk8Tks0H7ZtCF8JOK-1ONZt~x6E2VsugviL2Da92KjICIFWm-oMJ4J4TKoIPDmtHOmQ2lfoQLf5mlx8FSI5MSnBqH19A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Sharma, M. (2020). *Arsenic Removal from Water by Adsorption onto Iron oxide/Activated Carbon Composite Prepared from Giant Reed* obtenido de <https://elibrary.tucl.edu.np/handle/123456789/8659>

Sigrist, M. E., Brusa, L., Beldomenico, H. R., Dosso, L., Tsendra, O. M., González, M. B., ... & Vera, C. R. (2014). *Influence of the iron content on the arsenic adsorption capacity of Fe/GAC adsorbents* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343714000402>

Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural Waters* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292702000185>
85

- Tamayo, M. (2006). *Diccionario de la investigación científica* obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jcGySsqyv4wC&oi=fnd&pg=PA7&dq=tamayo+2006&ots=32sD6WrXQV&sig=otGMS9sW548IH0Puo b2kPGvGuk4#v=onepage&q=tamayo%202006&f=false>
- Tito, B., (2021). *Espectrofotómetro de absorción atómica: Usos, parte y precio* obtenido de <https://ingenieriaambiental.net/espectrofotometro-de-absorcion-atmica/>
- Wang, S., Gao, B., Zimmerman, A. R., Li, Y., Ma, L., Harris, W. G., & Migliaccio, K. W. (2015). *Removal of arsenic by magnetic biochar prepared from pinewood and natural hematite* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414015363>
- Wei, Y., Wei, S., Liu, C., Chen, T., Tang, Y., Ma, J., ... y Luo, S. (2019). *Efficient removal of arsenic from groundwater using iron oxide nanoneedle array-decorated biochar fibers with high Fe utilization and fast adsorption kinetics* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419308814>
- Yao, S., Liu, Z., & Shi, Z. (2014). *Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption onto iron oxide/activated carbon magnetic* obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1186/2052-336X-12-58>
- Yürüm, A., Kocabaş-Ataklı, Z. Ö., Sezen, M., Semiat, R., & Yürüm, Y. (2014). *Fast deposition of porous iron oxide on activated carbon by microwave heating and arsenic (V) removal from water* obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894714000229>
- Zhang, W., Chang, Q. G., Liu, W. D., Li, B. J., Jiang, W. X., Fu, L. J., & Ying, W. C. (2007). *Selecting activated carbon for water and wastewater treatability studies* obtenido de <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ep.10222>

ANEXOS

Operacionalización de variables

Tipo de Variable	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala	Valor	Instrumento
Variable independiente	Dosis de carbón activado de <i>Stipa ichu</i> y hematita	Es la cantidad de carbón activado al que se le adiciona hematita, mediante una serie de procedimientos para impregnar ambos elementos con la finalidad de incrementar la capacidad de adsorción del arsénico (Chang, Q. 2010).	Es la cantidad de carbón activado de <i>Stipa ichu</i> al que se le adiciona hematita mediante procedimientos físicos y químicos especificados en la parte procedimental.	Dosis	2g/l (carbón activado 50%: hematita 50%)	de razón	ppm	Balanza
					4g/l (carbón activado 50%: hematita 50%)	de razón	ppm	Balanza
					10g/l (carbón activado 50% : hematita 50%)	de razón	ppm	Balanza

Variable dependiente	Eficiencia de remoción de arsénico en agua subterránea	Es la capacidad de eliminar el arsénico de una muestra de agua subterránea bajo la aplicación de tecnologías disponibles y actuales que sustenten la factibilidad económica (Galindo, G. 2005).	Es la cantidad de arsénico final luego del tratamiento con carbón activado y hematita menos la cantidad inicial en la muestra de agua subterránea, expresada en porcentaje	Concentración de arsénico	Cantidad inicial de arsénico	de razón	mg/l	espectrómetro de absorción atómica
					Cantidad inicial de arsénico	de razón	mg/l	espectrómetro de absorción atómica
					Cantidad inicial de arsénico	de razón	mg/l	espectrómetro de absorción atómica

Informe de resultado de analisis de agua subterranea emitido por el laboratorio de agua y suelos de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



RESULTADO DE ANÁLISIS

DATOS DEL CLIENTE A SOLICITUD DE ASUNTO : CHIRINOS TRUJILLO NATALY MILUSKA
: Determinación Analítica del contenido Metálico de arsénico Total en la muestra

PROCEDENCIA FUENTE : Urbanización San Crispín – Taparachi – Salida Puno
: Muestra de agua subterránea de pozo tubular

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA : Frasco acaramelado (1 litro) por muestra

ENSAYO PROYECTO : Análisis Químico - Elemento Arsénico (As)
: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO DE STIPA ICHU Y HEMATITA - LINEA DE INVESTIGACIÓN CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.

COORDENADAS : Latitud: -15.527003 S 15°31'37.21116"
: Longitud: -70.103800 W 70°6'13.68072"

ALTITUD : 3824 m.s.n.m.

RECEPCION DE MUESTRAS : 03/02/2023

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 03/02/2023

RESULTADO DE ENSAYO – ANALISIS DE METALES (ARSÉNICO As)

Fecha de Muestreo		03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023	03/02/2023
Nombre de Muestra	Unidad	Muestra Inicial – Sin tratamiento	Filtrado con Carbón Activado	Muestra 01 de carbón activado y hematita	Muestra 02 de carbón activado y hematita	Muestra 03 de carbón activado y hematita
		Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
007 ENSAYOS DE METALES – Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica						
Dosis	g/L	---	10	2	4	10
Arsénico (As)	mg/L	0,1205	0,011	0,0092	0,0075	0,0041

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

DETERMINACIONES	UNIDAD	EQUIPO	RESULTADOS SIN TRATAMIENTO		
			MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
pH	---	Potenciómetro - HANNA	7.73	7.79	7.86
C.E.	mS/cm	HACH	0.87	0.78	0.77



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
 LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



DETERMINACIONES	UNIDAD	EQUIPO	RESULTADOS TRATAMIENTO CON CARBON ACTIVADO			
			MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
pH	—	Potenciómetro - HANNA	7.55	7.38	7.46	7.47
C.E.	ms/cm	HACH	1.10	0.98	0.94	0.89

DETERMINACIONES	UNIDAD	EQUIPO	RESULTADOS DE MUESTRA STIPA ICHU
Humedad	%	Estufa eléctrica	48.50
Cenizas	%	Mufa eléctrica	6.38

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica
 Laboratorio de Aguas y Suelos



Evaristo Mamani Mamani
 Dr. Sc. EVARISTO MAMANI MAMANI
 JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Eficiencia en la remoción de arsénico con carbón activado de stipa ichu y hematita en agua subterránea", cuyo autor es CHIRINOS TRUJILLO NATALY MILUSKA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 21 de Marzo del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 27-03- 2023 08:59:48

Código documento Trilce: TRI - 0537666