

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**Remoción de las aguas del rio Puruay utilizando un biofiltro,  
empleando la zeolita en el Centro Poblado Huambocancha Baja –  
Cajamarca – 2022.**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Villanueva Herrera, Víctor Hugo

**Asesor**

Urrutia Vargas, Segundo

Código ORCID: 0000-0003-4415-0484

Cajamarca – Perú

**2024**

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>i</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	<b>vi</b>
<b>CONSTANCIA DE SIMILITUD</b>	<b>vi</b>
<b>TITULO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>63</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>92</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS Y APÉNDICE</b>	<b>96</b>

## INDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Cobre con altos niveles de oxígeno.
- Tabla 2. Consecuencias del consumo de agua con cobre en exceso.
- Tabla 3. Concentraciones máximas permisibles de cobre (mg/l) según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- Tabla 4. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.
- Tabla 5. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.
- Tabla 6. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.
- Tabla 7. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.
- Tabla 8. Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.
- Tabla 9. Tipos de biomásas naturales usadas para la preparación de biosorbentes.
- Tabla 10. Componentes biológicos de la zeolita.
- Tabla 11. Composición química de la zeolita.
- Tabla 12. Monitoreo del punto de monitoreo, Rio Puruay - Cajamarca.
- Tabla 13. Resultados del monitoreo de la cuenca del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 14. Resultados del monitoreo de la cuenca del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 15. Variable dependiente: Remoción de cobre.

- Tabla 16. Variables independientes: mineral zeolita.
- Tabla 17. Resultados de barrido de metales en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 18. Composición elemental del mineral zeolita.
- Tabla 19. Resultados de pH realizado a la muestra de porción de la zeolita.
- Tabla 20. Resultados de presencia de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 21. Resultados de parámetros físico - químicos de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 22. Resultados de presencia de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 23. Resultados de parámetros físico - químicos de cobre del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 24. Resultados de presencia de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 25. Resultados de parámetros físico - químicos de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.
- Tabla 26. Variación de parámetros físico - químicos de las aguas del Rio Puruay posterior al uso del mineral zeolita.
- Tabla 27. Cuadro comparativo, entre muestras experimentales, muestra patrón y estándares de calidad.

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Composición química del aluminio.
- Figura 2. Composición química del cobre.
- Figura 3. Composición química de la zeolita.
- Figura 4. Unidad estructural básica de una zeolita.
- Figura 5. Producción Peruana de minerales.
- Figura 6. Participación en la producción de zeolita por región.
- Figura 7. Cuenca monitoreada Rio Puruay – ALA Cajamarca.
- Figura 8. Resultados del monitoreo del punto del Rio Puruay – Cajamarca.
- Figura 9. Naciones donde sus aguas han registrado presencia de cobre.
- Figura 10. Monitoreo de las aguas del Rio Puruay - Cajamarca.
- Figura 11. Monitoreo de las aguas del Rio grande – Cajamarca.
- Figura 12. Gráfico de barras representado la cantidad de pH obtenida por las muestras y el L.M.P. según ECA.
- Figura 13. Gráfico de barras representado la conductividad obtenida por las muestras y el L.M.P. según ECA.
- Figura 14. Gráfico de barras representado los sólidos totales obtenidos por las muestras y el L.M.P. según ECA.
- Figura 15. Gráfico de barras representando la turbidez obtenida por las muestras y el L.M.P. según ECA.
- Figura 16. Gráfico de barras representando la cantidad de cobre obtenidas por las muestras y el L.M.P. según ECA.
- Figura 17. Gráfico representando el porcentaje de cobre obtenidas por las muestras.

## **Palabras clave**

Tema: Remoción, mercurio, zeolita

Especialidad. Hidráulica

## **Key words**

Topic: Removal, mercury, zeolite

Specialty: Hydraulics

## **Línea de investigación**

Hidráulica.

OCDE	Área : Ingeniería y Tecnología.
	Sub Área : Ingeniería Civil.
	Disciplina : Ingeniería Civil

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Vicerrector de Investigación de la Universidad San Pedro:

### HACE CONSTAR

Que, de la revisión del trabajo titulado "**Remoción de las aguas del río Puruay utilizando un biofiltro, empleando la zeolita en el Centro Poblado Huambocancha Baja - Cajamarca - 2022.**" del (a) estudiante: **VILLANUEVA HERRERA VICTOR HUGO**, identificado(a) con Código N° **2815100193**, se ha verificado un porcentaje de similitud del **20%**, el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad San Pedro mediante resolución de Consejo Universitario N° 5037-2019-USP/CU para la obtención de grados y títulos académicos de pre y posgrado, así como proyectos de investigación anual Docente.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Chimbote, 15 de octubre de 2024

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



Dr. JAVIER MARTÍNEZ CARRIÓN  
VICERRECTOR



**NOTA:** Este documento carece de valor si no tiene adjunta el reporte del Software TURNITIN.

## **TÍTULO**

“Remoción de las aguas del rio Puruay utilizando un  
biofiltro, empleando la zeolita en el Centro Poblado  
Huambocancha Baja – Cajamarca – 2022”

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por finalidad remover el arsénico haciendo uso de proporciones de zeolita para que mediante el proceso de adsorción de arsénico de las aguas superficiales de la vertiente del río Puruay en la localidad de Huambocancha, en la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Estas aguas se encuentran contaminadas por los metales pesados a consecuencia de los remanentes mineros de los procesos mineros que llegan a desembocar al río Puruay. La metodología empleada en la investigación fue experimental, por el uso de un material nuevo como la zeolita al cual mediante análisis térmico diferencial se determinó su temperatura de activación, y posteriormente se activo físicamente. La zeolita se recolectó en la localidad de Huambocancha, se caracterizó el material y se elaboraron bolitas de mineral para la remoción en soluciones de 600 ml de agua antes y después del tratamiento se probó en ensayos de laboratorio para obtener cantidades permisibles según los Estándares de Calidad del Agua, (ECA), la remoción de arsénico se verificó con la dosificación de 200 bolitas y 300 bolitas removiendo en el agua un 95.40% respecto al agua sin tratamiento. Se concluye que al modificar la cantidad de esferas a cada muestra de 600 ml la remoción de arsénico en el agua es más efectiva.

## **ABSTRACT**

The purpose of the research was to remove arsenic using proportions of zeolite so that, through the process of adsorption of arsenic from the surface waters of the Puruay River basin in the town of Huambocancha, in the province of Cajamarca, department of Cajamarca. These waters are contaminated by heavy metals as a result of the mining waste from the mining processes that end up in the Puruay River. The methodology used in the research was experimental, through the use of a new material such as zeolite, whose activation temperature was determined through differential thermal analysis, and then it was physically activated. The zeolite was collected in the town of Huambocancha, the material was characterized and mineral pellets were made for removal in solutions of 600 ml of water before and after treatment. It was tested in laboratory tests to obtain permissible quantities according to the Water Quality Standards (ECA). The removal of arsenic was verified with the dosage of 200 pellets and 300 pellets, removing 95.40% of the water compared to untreated water. It is concluded that by modifying the number of spheres in each 600 ml sample, the removal of arsenic in the water is more effective.

## I. INTRODUCCION.

La investigación se basa en el desarrollo de la eficiencia del uso del mineral zeolita en la remoción del mercurio efluentes del Rio Puruay, en la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. La mineral zeolita es una roca muy utilizada para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas, Ríos, Quebradas, Aguas subterráneas. El proceso de Obtención del mineral zeolita activado se realizara con los filtros de zeolita natural con materiales locales, con capas de agregados tales como: 0.20 m de grava de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro, 0.10 m de gravilla de malla N.º 4 y finalmente una capa de 0.30 m de zeolita de malla N.º 14; de tal manera se determinó los valores de los tres parámetros obligatorios según el Reglamento de la calidad del agua con los ensayos que aremos en nuestro proyecto con la capacidad de remover el mercurio pesado en el agua contaminada del rio Puruay. Las propiedades fundamentales de la zeolita están compuestas por tetraedros del tipo TO4 (T) = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co, su porosidad, adsorción e intercambio iónico.

La importancia de esta investigación es remover el metal pesado como el mercurio del rio Puruay en Huambocancha Baja - Cajamarca, beneficiando a la sociedad y su agricultura. Los resultados posibles a obtener son más de un 80%.

La metodología de la investigación es la experimentación, porque consiste en la innovación de nuevos materiales como la mineral zeolita para la remoción del mercurio y luego nos apoyaremos en múltiples ensayos de laboratorio observando y debatiendo los resultados obtenidos.

A Nivel Internacional.

Ruiz (2013), en su tesis titulada Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la Parroquia San Isidro del Cantón Guano – Ecuador, buscan diseñar un sistema de tratamiento de Agua Potable para la Parroquia, cuyo objetivo es caracterizar el agua proveniente de la fuente hidrográfica, que se consume en la parroquia San Isidro, para el desarrollo de esta investigación se realizó muestreo simple, con una toma semanal en la captación del agua, por el lapso de un mes, luego de lo cual, se efectuó el análisis en el laboratorio de Análisis Técnico, de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los resultados de los análisis fueron tabulados en una hoja de cálculo, mismos que

ayudaron a la identificación de las variables de proceso, adicionalmente se consideró la dotación de 120 L/h/d, para un total de 10735 habitantes proyectados a 20 años, con un caudal de 20,34 L/s, con estos valores se diseñó el sistema para potabilización, determinándose que se necesita un tanque de captación y otro de almacenamiento de 12,2 m<sup>3</sup> cada uno, un aireador de bandejas múltiples con 4 torres de 2 metros de alto y 3 bandejas cada una. El filtro contendrá zeolita como medio filtrante y su volumen de 40 L, un tanque de cloración de 18,3 m<sup>3</sup>; este sistema fue validado por medio de un filtro compuesto por zeolita a nivel de laboratorio, llegando a tener una eficiencia del 89 % y un rendimiento del 96 %. Al finiquitar las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio, y comparar los valores obtenidos en la caracterización final con aquellos de la caracterización inicial, de los 5 parámetros que no cumplían con lo estipulado en la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011, se constató que dichos valores fueron corregidos de manera satisfactoria, es decir que se logró que cumplan con lo estipulado en la norma antes mencionada, transformando el agua inicial cuyas características la hacían poco aceptable, en agua aceptable, una vez concluido el tratamiento aplicado; por tanto, se pudo determinar la calidad del agua como poco aceptable para el consumo humano.

Pérez (2017), en su tesis titulada Análisis de zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos “Ayuda al Campesino” de la Parroquia La Matriz - Cantón Quero - provincia de Tungurahua – Ecuador, buscan analizar la zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos “Ayuda al Campesino” de la Parroquia La Matriz, el presente trabajo experimental tiene como finalidad, evaluar la eficiencia de la Zeolita como material filtrante para el tratamiento de aguas residuales. En base a los resultados, queda confirmada la hipótesis mencionada en este proyecto mencionando que la Zeolita si es eficiente para el tratamiento de aguas residuales, por lo cual deja abiertos temas de investigación para conocer su comportamiento con la combinación con otros materiales. Los niveles de investigación que se utilizaron en este proyecto fueron: exploratoria, descriptiva, explicativa, experimental, de laboratorio. Los resultados demuestran que es dable purificar y optimizar la calidad de las aguas muy duras para el análisis químico mediante el empleo de zeolitas naturales, ya que se tuvieron

concentraciones iniciales que posteriormente se redujeron. Al analizar la zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos se pudo verificar la hipótesis planteada que la zeolita es eficaz como medio filtrante debido a que los resultados de los análisis físico- químicos tienen un alto porcentaje de remoción en relación al DBO5 (82.60%), DQO (71.11%) y Aceites y Grasas (90.08%).

A Nivel Nacional.

Vela y Tuesta (2016), en su tesis titulada Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba – 2016. Cuyo objetivo principal fue: Dimensionar los filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) para tratar el agua de la microcuenca Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba a nivel piloto. Este proyecto de investigación buscó mejorar la calidad del agua de la quebrada Juninguillo la Mina en su concentración de hierro y manganeso para que esta sea un agua apta para el consumo humano; donde se aplicó una batería de filtros de zeolita (clinoptilolita) y que estos metales cumplan con las concentraciones estipulados en el reglamento de calidad de agua para consumo humano, la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo fue experimental – aplicada. Los resultados obtenidos fueron que el agua para ser utilizada para consumo humano es necesario un tratamiento avanzado, pudiendo ser estas un sistema de aireación, sedimentación, como pre tratamiento antes de la filtración, también se puede utilizar sistemas de floculación sedimentación para mejorar las condiciones finales del agua y se encuentre listo para consumo humano. Llegando a la conclusión que, mediante la aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita se registró resultados satisfactorios en remoción de hierro y manganeso permitiendo dar un tratamiento óptimo al agua de la quebrada Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba.

A Nivel Local.

Haro (2015), en su tesis titulada El uso de la zeolita natural en el proceso de filtración rápida, en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito y provincia de San Miguel – Cajamarca, buscan determinar la eficiencia del proceso de filtración

rápida, utilizando la zeolita natural como medio filtrante en el tratamiento de agua para consumo humano en la PTAP San Miguel. El presente trabajo de investigación se enfocó en utilizar un medio filtrante distinto a lo convencional que se utiliza en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano. Teniendo en cuenta la calidad del agua que producen las EPS a nivel nacional muchas de ellas producen agua con parámetros que se acercan y hasta superan, en algunos casos, los límites establecidos en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. La metodología aplicada para la elaboración de la investigación fue diseñar, construir y usar un modelo a escala piloto del filtro a presión existente; utilizando como medio filtrante la zeolita de origen natural con una granulometría similar al medio filtrante que este caso la arena cuarzosa y comparar las eficiencias del proceso de filtración. El filtro experimental fue diseñado con los parámetros con el cual trabaja el filtro existente (calidad de agua del ingreso, carga de energía disponible y condiciones ambientales).

Luego de realizar el análisis de resultados que comparó la calidad del agua filtrada en el medio filtrante zeolita natural, así como también el agua proveniente del filtro de arena tipo cuarzosa se determinó que presentan unas características muy deseables y están dentro del rango que establece el reglamento de calidad de agua para consumo humano del estado peruano. Se observó que los parámetros del efluente de dichos filtros están dentro de los límites máximos permisibles en cuanto a la turbiedad, color, PH, coliformes fecales y coliformes totales, presentado valores por muy por debajo de los límites establecidos. En conclusión, el medio filtrante a base de zeolita natural presenta altos indicadores de eficiencia durante el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

#### Teoría de la Zeolita.

Las zeolitas naturales son minerales de aluminio-silicatos hidratados con una estructura porosa y propiedades fisicoquímicas valiosas, además del intercambio de cationes, entre las que se cuentan el cribado molecular, la catálisis y la absorción [Ríos et al., 2013]. De manera simple, se trata de una red tridimensional que consiste en unidades tetrahedrales de sílice y alúmina unidas a un átomo de oxígeno compartido.

El reemplazo isomorfo de  $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$  resulta en una carga negativa global que es compensada con diversos cationes, otorgando a este material propiedades adicionales a las estructurales (Wang & Peng, 2016).

El término zeolita se utiliza para designar a una familia de minerales naturales con propiedades particulares como el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Esta última propiedad es la que da origen a su nombre, que se deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra.

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos (especialmente Na, K, Mg y Ca), estructurado en redes cristalinas tridimensionales, tetraedros compuestos de Si O<sub>4</sub> y AlO<sub>4</sub> tipo nos unió vértices a través de átomos de oxígeno.

Durante las últimas décadas a lo largo de los años se ha comprobado el gran desempeño y utilidad que las zeolitas naturales han tenido, en varias de las ramas tanto de la economía, como la salud y construcciones. Gracias a diferentes investigaciones, se ha logrado encontrar más aplicaciones para el uso de este mineral, científicos y técnicos han dedicado especial atención a un grupo de aluminosilicatos cristalinos, llamados por el nombre de zeolitas, llevando a cabo una labor investigadora muy amplia sobre su síntesis, estructura y propiedades, como resultado, se han obtenido un gran número de patentes sobre la preparación de diferentes tipos de zeolitas y sobre catalizadores basados en ellas, así como toda una serie de aplicaciones industriales de gran interés, que van desde un simple proceso de secado a complicadas reacciones catalíticas. (Chen, 2015).

Aunque la divulgación de las zeolitas ha tenido lugar en los últimos cuarenta años, el descubrimiento de zeolitas naturales data de 1756, cuando el geólogo A. Cronstedt [Cronstedt, 1756]. Pronto se observó que estos minerales eran capaces de intercambiar sus iones metálicos en disoluciones acuosas y que, una vez anhidros, podían absorber selectivamente distintos compuestos. Por todo ello también se les llamaron tamices moleculares.

Utilizar un material inorgánico como lo es la zeolita a manera de una adición mineral, e incorporarla al cemento para obtener un cemento puzolánico. Estas adiciones incorporadas al cemento se las realiza con el fin de mejorar sus propiedades, obteniendo un producto igualmente resistente y más económico.

### Características Generales de la Zeolita.

Las zeolitas naturales son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las ocurrencias hidro-termales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas. Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas (Jiexiang y Surent, 1993). Dentro de esas se incluyen: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita.

La mayoría de las ocurrencias de zeolita puede ser encontrada en uno de los seis ambientes geológicos (Clifont, 1987; Luz, 1994; Mumpton, 1973; Sheppard, 1975): salino o lagos alcalinos, suelos alcalinos, diagenético, sistema abierto, hidrotermal y sedimentos marinos.

### Producción de la zeolita.

La síntesis de zeolitas se logra en medio acuoso y aplicando calor. La cristalización del material zeolítico se obtiene utilizando un agente director de estructura o ADE, agua, fuente de silicio (Silicio coloidal, alcóxidos de silicio o dióxido de silicio) y un agente mineralizante de silicio ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$ ).

Las zeolitas naturales se formaron después de millones de años a partir de cenizas volcánicas depositadas en lagos de agua salada. Con el tiempo y bajo el efecto del medio alcalino, las cenizas se alteraron y cristalizaron para convertirse en zeolitas.

### Zeolitas en el Perú.

Zeolita Átomos de O que forman la abertura Diámetro de poro  $\Theta$  (Å).

Ejemplos:

- Poro extragrande. 18  $9 \geq 9$  MCM - 9, VPI - 5

- Poro grande.

12  $6 < 9 \leq 9$  Y, P, Q

- Poro mediano.      10       $5 < 6 \leq 9$       ZSM – 5, ZSM - 11
- Poro pequeño.
- 8       $3 < 5 \leq 9$       Erionita, A

#### Obtención de la zeolita.

Las zeolitas de naturaleza volcánica son materiales microporosos compuestos de aluminosilicatos, sus estructuras son cavidades donde se ubican sustancias iónicas o moléculas de agua las mismas que pueden sufrir intercambio iónico o deshidratación. Las zeolitas sintéticas presentan diversas características en función de sus aplicaciones industriales. Numerosos trabajos de investigación se han enfocado en la capacidad de intercambio iónico (CIC); ésta, está en función del contenido de aluminio de la red mineral y así como de su composición.

En general, la CIC está en relación inversa con el contenido de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Zeolitas con  $\text{CIC} > 120$  meq/100g manifiesta buen intercambio iónico, otras arcillas que no superan 30 a 50 meq/ 100g carecen de un intercambio iónico notable.

Los materiales zeolíticos son usados en la remediación y mitigación de aguas de desecho o servidas. Por intercambio iónico propio de los materiales zeolíticos los iones indeseados de las aguas bajo impacto ecológico pueden ser eliminados del medio acuoso.

Los iones capturados se seleccionan en el orden:  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Co}^{+3}$  [8-10]. Cuando el empleo contempla zeolitas sódicas el orden de selectividad es:  $\text{Pb}^{+2} > \text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ba}^{+2} > \text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2} > \text{Cd}^{+2} > \text{Co}^{+2}$ . [11,12]. Las zeolitas sintéticas son agregadas a productos tales como detergentes, adsorbentes y catalizadores otorgándoles una plusvalía.

La síntesis de zeolitas se logra en medio acuoso y aplicando calor. La cristalización del material zeolítico se obtiene utilizando un agente director de estructura o ADE, agua, fuente de silicio (Silicio coloidal, alcóxidos de silicio o dióxido de silicio) y un agente mineralizante de silicio ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$ ). Los cationes  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NR}_4^+$  son empleados como ADE. El rango de temperatura empleado en la síntesis es de 90 a 190°C. El interior poroso de la zeolita sintética es ocupado por el ADE orgánico y estabiliza la estructura. El material orgánico es a posteriori eliminado por extracción o combustión liberando el sistema microporoso. En el transcurso de la síntesis se da un

ensamble de materiales inorgánicos y orgánicos por atracciones de Van der Waals. La obtención de un producto sintético amorfo o cristalino dependerá de las condiciones y materiales apropiados.

La variación en la composición de las soluciones y/o la variación de las condiciones de manipulación (que contempla factores cinéticos) permiten la obtención de zeolitas de diferente estructura o la misma zeolita con diferentes composiciones.

Las propiedades físicas de un mineral dependen directamente de su composición química y del arreglo geométrico de los diferentes átomos que lo constituyen, así como de la naturaleza de las fuerzas eléctricas atractivas entre ellos.

La determinación de estructura de zeolitas tipo heulandita y clinoptilolita demuestra que se trata de tetraedros de (Si, Al) O<sub>4</sub> unidos en capas de 0.9 nm de espesor mediante átomos de oxígeno.

El grado de ocupación de sitios catiónicos en las zeolitas naturales varía de 70 a 98%, esto incide en la cinética del proceso de intercambio iónico. Los sitios catiónicos son primordialmente ocupados por iones en función de su radio, y pueden ocupar también los sitios de las moléculas de agua.

La capacidad de intercambio (CIC) de una determinada masa de zeolita es la cantidad de equivalentes de un catión retenido por intercambio iónico, mientras que el número de equivalentes intercambiables por masa en una celda unitaria es la capacidad teórica de intercambio iónico máximo. La capacidad teórica de intercambio no siempre se alcanzada y se halla limitada por la presencia de lugares de intercambio de difícil acceso. Las zeolitas naturales presentan una gran ventaja respecto de las sintéticas debido a su abundancia y precio; también son más convenientes debido a su mejor acondicionamiento para el intercambio además de una excelente estabilidad a los procesos químicos y térmicos, propiedades estas últimas, que permiten su reactivación termal y re - utilización en varios ciclos.

Por estos motivos las zeolitas naturales son preferidas sobre las sintéticas cuando su utilización es requerida en el tratamiento de aguas contaminadas.

Las zeolitas son variedades de rocas de origen volcánico conteniendo mezclas de minerales.

Zeolitas naturales de diversos orígenes geográficos han sido sujeto de estudio en cuanto a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Se ha establecido así, el

comportamiento físico, mecánico y químico de algunas variedades extraídas en diferentes yacimientos del planeta, habiéndose comparado las diferencias de impacto en aplicaciones prácticas. Los estudios realizados han demostrado la gran variedad de zeolitas naturales debida a su composición química, teniendo cada tipo de zeolita sus propias aplicaciones.

También se ha investigado el uso de zeolitas naturales y sintéticas para diferentes objetivos, resultando el comportamiento de ambos tipos de materiales prácticamente similar.

En esta investigación se reporta el proceso de síntesis de una zeolita tipo NaP1, utilizando como material precursor un mineral zeolítico natural, el cual fue sometido a caracterización morfológica antes y después del proceso de activación. Luego del proceso de síntesis, se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del mineral activado, resultando en un aumento de la misma para todos los ensayos realizados.

### **Zeolita.**

**Definición:** es un mineral microporoso miembro del grupo de los aluminosilicatos, que se usa comercialmente como absorbente, aunque sus aplicaciones en la sociedad son variadas y van desde su uso en pastillas antidiarreicas, hasta como alimento para animales de granjas.

### **Remoción de las aguas.**

**Definición:** Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.<sup>2</sup> Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

### **Variable Dependiente:**

- Remoción de las aguas del río Puruay.

### **Variable Independiente:**

- Aplicación de minerales (zeolita).

### **Hipótesis.**

Mediante un biofiltro, empleando la zeolita, mejoraría las aguas del río Puruay – Huambocancha Baja – Cajamarca.

### **Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Determinar la remoción de las aguas del río Puruay utilizando un biofiltro, empleando la zeolita – Huambocancha Baja – Cajamarca.

#### **Objetivos específicos.**

- ✓ Determinar la temperatura de calcinación de la zeolita mediante el ensayo del ATD (análisis técnico diferencial),
- ✓ Determinar los componentes químicos de la zeolita, mediante un ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX).
- ✓ Determinar la caracterización del agua: conductividad eléctrica y sólidos.
- ✓ Elaborar el diseño hidráulico de un prototipo de biofiltro.
- ✓ Comparar y analizar los resultados mediante la prueba estadística.

## II. METODOLOGIA.

### a) TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

El tipo de investigación debe ser experimental de nivel Correlacional, ya que buscamos innovar nuestro proyecto con material zeolita proveniente del cerro el Gavilán de Cajamarca departamento de Cajamarca y porque consiste en asociar los ensayos del laboratorio como; El ensayo de ADT, Calcinación del material, ensayo de rayos Ph, ensayo de rayos X y limpieza de metales. Para resolver la problemática, remoción de mercurio del Rio Puruay – Huambocancha Baja en el departamento de Cajamarca.

Siendo el esquema del diseño de investigación el siguiente:

Muestra



Dónde:

M: muestra

01: Observación de metales pesados antes de pasar el material compuesto.

02: Observación de metales pesados después de pasar el material compuesto.

X: Aplicación del material compuesto como el mercurio a partir del mineral zeolita

### b) POBLACIÓN Y MUESTRA:

- **POBLACIÓN.**

Conformada por el agua del rio Puruay – Huambocancha Baja – Cajamarca.

- **MUESTRA.**

El presente estudio toma SEIS muestras de agua, dos por semana obtenidas del Sistema de Agua potable del Centro Poblado Huambocancha Baja, Distrito y Provincia de Cajamarca.

Fecha de toma de muestra							
CAPTACIÓN	AFLUENTE	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	-	-	-	-	-	-	-

**c) TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN:**

- Para la elaboración del presente proyecto de investigación se determinó que el Centro Poblado de Huambocancha Baja, solamente existe un Sistema de Agua Potable.
- Revisión de trabajos previos de investigación: Se revisó tesis relacionados con el tema, además de fuentes bibliográficas para definir conceptos relacionados al trabajo de investigación.
- Sondeo: Se realizó Monitoreos del ANA (Autoridad Nacional del Agua) en el rio Puruay - Huambocancha Baja - Cajamarca, lugar donde se llevara a cabo el estudio.
- Ficha de recolección de datos: se tomó coordenadas de la zona, mediante Google Earth, para luego posteriormente poder sacar la muestra dada.
- Además, se ha efectuado por el laboratorio de la UNC (Universidad Nacional de Cajamarca), acreditado por INDECOPI como laboratorio de 32 ensayo con el

sistema de calidad basado en la Norma Técnica Peruana NTP- ISO/ IEC 17025: 2006, desde el año 2004.

ETAPA	FUENTE	TÉCNICAS	INSTRUMENTO	RESULTADOS
Recolección de la muestra.	Efluentes del Rio Puruay en Huambocancha Baja.	Observación	Ficha de observación de campo	Contaminado o no contaminado
Análisis físico químico.	Laboratorio acreditado.	Experimental	Informe de ensayo - Acreditado. - Resultado del análisis.	- Parámetros. - Iniciales.
Preparación y procesamiento de la muestra.	Efluentes del Rio Puruay en Huambocancha Baja	Experimental	Parámetros: - Físicos - Químicos	Concentración de contaminantes
Análisis físico, químico del efluente tratado	Laboratorio acreditado	Experimental	Informe de ensayo: - Acreditado. - Resultado del análisis.	Tratamiento.

### **CONSIDERACIONES:**

Siendo un proyecto de investigación con un Nivel de Investigación Experimental y realizar ensayos de las muestras de nuestra población en un laboratorio se opta por usar como Técnica de Investigación: LA OBSERVACION CIENTIFICA. (Guía de observación

**Tabla 1.**

Cobre (Cu) con altos niveles de oxígeno.

Alimento	Porción	Cobre (Cu)
Hígado (res), cocido, frito	1 onza	4,128
Moluscos, ostras, cocidas	6 ostras medianas	2,397
Carne de cangrejo, cocida	3 onzas	1,005
Carne de cangrejo, azul, cocida, asada	3 onzas	692
Moluscos, almejas, especies mixtas, cocidas, asadas	3 onzas	585
Castaña de cajú	1 onza	622
Semillas de girasol, secas, tostadas	1 onza	519
Avellanas, secas tostadas	1 onza	496
Almendras	1 onza	292
Mantequilla de maní, sin sal	2 cucharadas	185
Lentejas, semillas maduras, cocidas, hervidas, sin sal	1 taza	497
Champiñones, blancos, crudos	1 taza (rebanados)	223
Cereal de trigo molido	2 galletas	167
Chocolate (semidulce)	1 onza	198

**Fuente:** Escrito en abril de 2003 por Jane Higdon, Instituto Linus Pauling (Universidad Estatal de Oregon).

El cobre se presenta en la Naturaleza como metal nativo, y también en forma de minerales sulfurados como calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcosita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Se purifica mediante procesos de refinado electrolíticos.

El cobre es uno de los micronutrientes esenciales, se conocen al menos treinta enzimas que contienen cobre, cuyas funciones son catálisis redox (Citocromo oxidasa, nitrato reductasa) o transportadores de oxígeno (hemocianina) (Weser et al., 1979). Aunque el cobre es un elemento esencial, a niveles elevados resulta tóxico, por lo que los niveles de cobre en los ecosistemas naturales y su disponibilidad biológica son importantes. La forma que toma este metal (iónica, compuesta o precipitada), y por tanto su disponibilidad dependen de factores ambientales como el pH, el potencial redox, el suelo y tipo de sedimento, la dureza del agua y el contenido orgánico, factores que varían dependiendo del ecosistema (Flemming & Trevor, 1989).

Los niveles de cobre accesible en el ambiente aumentan en áreas con actividades humanas que elevan su abundancia. Estas actividades antrópicas por las que el cobre entra en el suelo incluyen fundición (Beavington, 1973), minería, actividades industriales y residuos domésticos, y la aplicación de fertilizantes, alguicidas, y fungicidas (Yamamoto et al., 1985).

En concentraciones altas el cobre es tóxico para los organismos, y su efecto es fuerte en plantas y peces. En plantas produce lesiones en las raíces, inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de raicillas secundarias cortas y de color pardo. También produce clorosis. En algas y hongos previene la germinación de esporas. En peces, los iones de cobre interrumpen la regulación del sodio (Kamunde et. Al, 2004). En mamíferos puede producir daño en el hígado.

**Tabla 2.**

Consecuencias del consumo de agua con cobre en exceso.

ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES	- Ingerir una gran cantidad de agua que contiene cobre, generalmente en el agua potable, puede causar vómitos, náuseas, dolor abdominal o diarrea. - «riciforme» (heces en forma de arroz), hemorrágica o - «coleriforme» (similar a la del cólera); elevación de las transaminasas hepáticas en sangre.
ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES	Hipotensión arterial y shock, secundariamente a la vasodilatación y a la disminución de la función miocárdica; edema agudo de pulmón; arritmias; miocardiopatía congestiva.
CANCER	Puede provocar cáncer de piel, de vejiga, riñones y pulmón.
ENFERMEDADES HEMATOLOGICOS	Provoca anemia, leucemia, enfermedad de Wilson, dolor de riñones

**Fuente:**, MD, PhD, University of Arkansas for Medical Sciences, última versión completa dic. 2021.

La presencia de Cobre en aguas de consumo puede ser de origen natural o antrópico, Este último por efecto de lixiviación/corrosión a causa de las características físico - químicas de la matriz del agua que entra en contacto con los materiales que contienen Cobre. Si bien los metales liberados del material de fontanería, usados dentro del hogar, se consideran responsabilidad del propietario de la casa, la empresa sanitaria o el productor del agua pueden tener una gran responsabilidad en el tema, porque la solubilidad de los metales del sistema de distribución está determinada, principalmente, por la agresividad del agua en la que algunos parámetros que podrían ser controlados en la planta de tratamiento de agua, juegan un rol importante. La concentración del Cobre en aguas y su biodisponibilidad dependen de numerosos factores, muchos de los cuales no están suficientemente bien estudiados aún, por lo

que el diagnóstico sobre los impactos específicos de la exposición a Cobre, vía consumo de agua, tiene muchas incertidumbres. Hay información insuficiente sobre la biodisponibilidad del Cobre en relación a su especie química, sólo se tienen sospechas sobre que la fracción soluble inorgánica sería la más importante en relación a biodisponibilidad. La presencia de excesos de cobre en agua potable puede ocasionar problemas de sabor y color y producir manchas en los artefactos sanitarios y la ropa durante el lavado, además de afectar la salud de las personas por trastornos gastrointestinales, como náuseas, seguidas de vómitos y diarrea. Debido a su sabor metálico, la ingesta de cobre en concentraciones altas es poco frecuente, por lo que la mayoría de los reportes a este respecto se refieren a ingesta accidental o a intentos suicidas. La comunidad Europea, los Estados Unidos y nuestro país, Chile, han definido estándares mínimos de calidad para el consumo de agua potable. La mayor parte de las normas que controlan la calidad del agua, incluida la norma chilena, limitan la concentración de cobre en el agua potable a 1 mg/L. La Organización Mundial de la Salud recomienda un valor guía de Cobre en agua potable, de 2 mg/L.

**PRESENCIA DE COBRE EN AGUAS NATURALES:** Muchos factores y procesos influyen en la presencia de Cobre en aguas. Entre los factores importantes están dureza y alcalinidad del agua, fuerza iónica, pH y potencial redox. Entre los procesos que pueden influenciar el destino del Cobre en el sistema acuático están: formación de complejos con ligandos inorgánicos y orgánicos; sorción en óxidos metálicos, arcillas y material orgánico particulado; bioacumulación e interacción entre sedimento y agua. La especiación química del cobre en aguas, es muy compleja.

Primeramente, se puede diferenciar entre fracción soluble e insoluble. La fracción insoluble incluye coloides de cobre inorgánico y cobre adsorbido en otros coloides o materias suspendidas. La fracción soluble es mucho más relevante con respecto a la fracción biodisponible y consiste en iones de cobre hidratados (fácilmente disponibles) y una variedad de complejos orgánicos e inorgánicos. La concentración de equilibrio de muchos de estos complejos podría ser calculada si se conocieran las constantes de estabilidad y concentraciones de los ligandos. Las concentraciones de estos ligandos son a menudo desconocidas y las constantes de estabilidad y los complejos metal-ligandos son dependientes del pH (Haring, 1997). En ambientes acuáticos naturales el

Cobre se presentará, principalmente, como Cobre (II). De esta especie divalente, sólo una pequeña fracción se presentará como “libre” ( $\text{Cu}^{++}$ ), la mayor parte estará adsorbida en partículas suspendidas o formando complejos con diversos ligandos. Entre los ligandos de mayor importancia están los hidróxidos y carbonatos, también amonio, cloruros y sulfatos, todos ellos de común ocurrencia en aguas naturales. En el caso de orgánicos, los principales ligandos son los ácidos húmicos y fúlvicos que constituyen la materia orgánica natural del agua. Por este motivo, casi todo el Cobre en aguas naturales estará formando complejos los que pueden ser adsorbidos por una variedad de óxidos metálicos hidratados (Fe, Al, Mn).

### Especies de Cobre en Aguas Naturales.

Ión Libre	$\text{Cu}^{+2}$ .
Complejos Inorgánicos	$\text{Cu OH}$ , $\text{Cu(OH)}_2$ , $\text{CuCO}_3$
Complejos Orgánicos	Cu fulvato, Cu humano
Adsorbido en Coloides	$\text{Cu}^{+2}$ / COD / $\text{Fe(OH)}_3$
Particulado	Cu – arcilla, Cu - mineral

**PRESENCIA DE COBRE EN AGUAS DE CONSUMO:** Además de tener origen natural, el Cobre se podría introducir al agua de consumo durante su distribución, por lixiviación/corrosión desde las tuberías o grifería. La lixiviación dependerá de numerosos factores entre los cuales algunos se relacionan, directamente, con la calidad físico-química del agua como es el caso de:

- pH, fuerza iónica, temperatura.
- Concentración de iones inorgánicos con los cuales el Cobre puede formar complejos inorgánicos y las constantes de estabilidad de estos complejos.
- Formación de complejos orgánicos de Cobre (con ácidos húmicos).
- Solubilidad del material pasivado (malaquita, cuprita) Otros se relacionan con el diseño mismo de la instalación como son: material del sistema de distribución intradomiciliario, longitud de la cañería, tiempo de residencia del agua previo al consumo y antigüedad de la instalación.

- Los subproductos liberados por corrosión del Cobre pueden clasificarse de acuerdo a si el metal liberado está, predominantemente soluble o particulado. Los problemas asociados con Cobre soluble se producen más a pH 7,5 o menor, se desarrollan en un período corto y pueden remediarse elevando el pH. Por el contrario, cuando se trata de liberación de Cobre particulado, este problema se desarrolla en tiempos más prolongados y se pueden llegar a alcanzar altas concentraciones de Cu en el agua, no se corrige con ajustes de pH, es necesario filtración.

- En muchos de estos casos se reporta alto contenido de carbón orgánico asimilable, sulfuros, bacterias sulfo - reductoras, tiempos prolongados de almacenamiento, baja concentración de cloro y presencia de un biofiltro. La literatura también señala que en estos casos el pH tiende a ser alto, mientras que bicarbonatos y conductividad específica son bajos, características que corresponden a aguas con una capacidad amortiguadora extremadamente pobre por lo que tienen poca resistencia a cambios de pH resultantes de reacciones químicas o biológicas (Edwards et al, 1994; Edwards et al, 1995; Edwards et al, 1999).

- Tratar de compatibilizar la necesidad de abastecer de agua a la población y el hecho que el abastecedor no es responsable de los materiales que se usan en los hogares, hace en algunos casos, difícil el cumplimiento de las recomendaciones internacionales o las normativas nacionales sobre máximos de Cobre en aguas de consumo.

**Tabla 3.**

Concentraciones máximas permisibles de cobre (mg/l) según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

<b>Categorías / Sub categorías</b>	<b>As (mg/L)</b>
<b>Categoría 1: Uso poblacional y recreacional</b>	
<b>Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b>	
A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	0.01
A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	0.01
A3: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	0.05
<b>Aguas superficiales destinadas para recreación</b>	
B1: contacto primario	0.01
B2: Contacto secundario	..
<b>Categoría 2: Actividades marino costeras</b>	
C1: Extracción y cultivo de moluscos bivalvos	0.05
C2: Extracción y cultivo de otras especies microbiológicas	0.05
C3: Otras actividades	0.05
<b>Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales</b>	0.05
<b>Categoría 4; Conservación del ambiente acuático</b>	
<b>Lagunas y Lagos</b>	0.01
Ríos	0.01
Costa y sierra	0.01
Selva	0.05

**Fuente:** Según decreto supremo N°002-2008-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad de Agua. (Diario El Peruano, 2015 p. 1-7).

## **Cobre.**

El cobre es un metal de color rojizo, que tiene la capacidad de transportar electricidad y calor, Se encuentra en la naturaleza combinado con otros metales como el oro, la plata y el plomo.

El cobre es utilizado en el cableado de edificaciones, tuberías de agua y gas. También se emplea en la generación y distribución eléctrica por ser un excelente conductor. (Delgadillo, 2013) “Se emplea en los motores de diferentes medios de transporte como aviones, barcos, trenes y automóviles”. (Oliveira, 2003).

Es un componente de las piezas de aparatos electrónicos y en la dieta humana se debe ingerir cobre para prevenir anemia y fragilidad ósea. (Tovar, 2018). Respecto al grado de distribución del Cu en la naturaleza o en el medio ambiente se puede observar aquellas rocas que contienen más altos niveles de Cu, están escasamente representadas mientras que las más frecuentes como los granitos, areniscas y calizas, presentan proporciones más bajas en dicho elemento. (Tovar, 2018).

Contaminación de agua por metales pesados. La formación de drenaje ácido de mina (DAM) se debe a la oxidación de minerales sulfúricos en presencia del agua y oxígeno, reaccionando para formar ácidos sulfúricos que fácilmente disuelven metales tales como el hierro, el cobre el aluminio y el plomo. Este proceso puede ser natural, pero el desarrollo minero puede acelerar en gran medida la velocidad a la que se producen tales reacciones que finalmente generaran procesos contaminantes adversos principalmente para los cursos de aguas.

Las aguas superficiales se pueden contaminar debido a la erosión y descarga de sedimentos y materiales provenientes de los tajos abiertos, pilas de lixiviación, tanques de relaves, desmontes, etc. hacia los cuerpos acuáticos”. (Nieto E., 2018).

La generación ácida, así como su consumo, es el resultado de un gran número de reacciones químicas interrelacionadas. Los elementos fundamentales que intervienen la generación ácida son: minerales sulfurosos, bacterias y temperatura, agua o humedad de la atmósfera y un oxidante, particularmente oxígeno proveniente del aire o de procedencia química.

La total exclusión de la humedad o del oxidante detendrá la generación ácida. En la mayoría de los casos, la actividad bacteriana juega un papel importante en la aceleración de la velocidad de generación ácida, la inhibición de éstas disminuirá la velocidad de formación de efluentes ácidos. (Aduvire, 2006).

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su costo inicial correspondientemente bajo, cuando se usa en sistemas a gran escala puede ser una tecnología costo - efectiva.</li> <li>- Trabajo relativamente simple (cuando se compara con las otras tecnologías listadas).</li> <li>- Químicos comúnmente disponibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasividad limitada a las variaciones de pH. (para sulfuros)</li> <li>- Puede verse afectado por la apariencia de solidos suspendidos.</li> <li>- Producen lodos tóxicos.</li> <li>- Baja certeza, particularmente cuando las concentraciones son bajas (entre 1 y 100 mg/L) y especialmente para el Cu.</li> <li>- En algunos casos solicita de pre - oxidación.</li> </ul>

**Fuente:** Adaptado de Volesky, 2001; Ahmed, 2001; Kanamadi et al, 2006; Petrusovski, 2007; Wang y Chen, 2009.

**Oxidación o Reducción química:** La mayoría de los procesos de tratamiento son positivos en remover cobre en su forma pentavalente, de allí que sea necesario un proceso de oxidación como pre - tratamiento para convertir el cobre. El cobre consigue ser oxidado con oxígeno, ozono, cloro, hipoclorito, permanganato, peróxido de hidrógeno, entre otros; de los cuales el oxígeno atmosférico, hipoclorito y permanganato son generalmente usados en países en desarrollo.

**Tabla 5.**

4

Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Proceso comparativamente simple, de bajo costo, pero lento.</li><li>- Oxida otras impurezas y elimina la contaminación microbiana (cuando se usa cloro o similar como agente oxidante).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se solicita el uso de muchos químicos.</li><li>- Puede verse afectado por la presencia de sólidos suspendidos.</li><li>- La remoción del cobre es parcial.</li><li>- Es sensitivo a las condiciones ambientales.</li></ul>

**Fuente:** Adaptado de Volesky, 2001; Ahmed, 2001; Kanamadi et al, 2006; Petrusevski, 2007; Wang y Chen, 2009.

**Intercambio iónico:** Este proceso es habitualmente usado para la remoción de un catión o anión no deseado del agua. Las resinas de intercambio iónico son principalmente polímeros sintéticos que contienen un grupo iónico activo como el SO<sub>3</sub>H y se hallan disponibles de manera selectiva para ciertos iones metálicos; aunque otros materiales naturales como las zeolitas también pueden ser empleados como medio de intercambio iónico. A medida que la capacidad de la resina se agota, esta necesita ser regenerada.

Las restricciones en el uso de intercambio iónico para el procedimiento de efluentes inorgánicos son primariamente su alto costo y los requerimientos de sistemas de pre-tratamiento adecuados. El intercambio iónico es capaz de alcanzar concentraciones de iones metálicos en el rango de partes por millón, sin embargo, en presencia de altas cantidades de iones competidores mono y divalentes como el sodio y calcio, el intercambio iónico es prácticamente ineficaz.

**Tabla 6.**

Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Técnicas comparativamente conocidas, definidas y comercialmente disponibles.</li><li>- Efluente de alta pureza.</li><li>- Alta efectividad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tolerancia restringida a las variaciones de pH.</li><li>- Puede verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.</li><li>- Origina residuos tóxicos.</li><li>- Se solicita de instalación y regeneración.</li><li>- Solicita de operación y mantenimiento altamente tecnificado.</li><li>- Costo relativamente alto.</li></ul>

**Fuente:** Adaptado de Volesky, 2001; Ahmed, 2001; Kanamadi et al, 2006; Petrusovski, 2007; Wang y Chen, 2009.

**Procesos de membrana:** Los procesos de membrana pueden remover toda clase de sólidos disueltos, incluidas las sales de cobre, a través de filtración, repulsión eléctrica, ósmosis inversa, electrodiálisis y absorción de compuestos afines al cobre. Estos procesos involucran la concentración iónica mediante el uso de una membrana selectiva con una fuerza motriz específica.

La viabilidad de la micro - filtración y la ultrafiltración como técnicas para la remoción de cobre es altamente dependiente del tamaño y distribución de las partículas afines al cobre que se encuentren en el agua. Las membranas de nano - filtración son capaces de remover porciones significativas de los compuestos de cobre disueltos en aguas naturales.

Debido a que el cobre en aguas subterráneas se encuentra en un 80 a 90% disuelto, los procesos de membrana son técnicamente aplicables para la remoción de cobre

en el agua de bebida (4, 50); sin embargo, su aplicación es restringida debido a su sensibilidad a una gran variedad de contaminantes y peculiaridades del agua a tratar, lo cual forma obligatoria un pre - tratamiento para la remoción de solidos suspendidos. Por otro lado, estas técnicas son costosas, sofisticadas y requieren un alto nivel de expertos técnicos para ser maniobrados, restringiendo su uso a gran escala a nivel local y en países en desarrollo.

**Tabla 7.**

Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica correctamente definida y alta eficiencia en la remoción.</li> <li>- No origina residuos sólidos tóxicos.</li> <li>- Capaz de destituir otros contaminantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolerancia restringida a las variaciones del pH.</li> <li>- Consigue verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.</li> <li>- Costo de instalación y sustento bastante altos.</li> <li>- Operación y sustento altamente calificados.</li> <li>- Se originan aguas residuales tóxicas.</li> </ul>

**Fuente:** Adaptado de Volesky, 2001; Ahmed, 2001; Kanamadi et al, 2006; Petrusovski, 2007; Wang y Chen, 2009.

**Absorción:** La absorción implica el uso de un medio granular adsorbente para la remoción selectiva del cobre en el agua con o sin ajuste de pH y con o sin regeneración del medio.

Muchos medios filtrantes granulares adsorbentes han manifestado una alta eficacia en la remoción de cobre en el agua.

Estos medios encierran la alúmina y carbón activados recubiertos con óxido de hierro y otros medios comerciales derivados. Estas tecnologías son consistentemente

competentes de remover cobre del agua por debajo de los niveles requeridos por los estándares nacionales e internacionales.

Confrontado con la precipitación, es más posible que la garantía de la adsorción se vea afectada por las características y contaminantes en el agua a alternar, sin embargo, los costos de operación y mantenimiento dilatan a ser menores y solicitan menor capacidad técnica para manipular, tal como es observado en un sistema de una pequeña sucesión que usan esta tecnología.

Por ello, la adsorción y el intercambio iónico suelen ser usados en sistemas de tratamiento comparativamente chicos cuando el cobre es el único contaminante a tratar.

**Tabla 8.**

Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua bebida, apto para el consumo humano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Comparativamente conocida y comercialmente útil (uso de sorbetes convencionales).</li> <li>- Alta efectividad.</li> <li>- Se puede obtener un efluente de alta pureza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolerancia limitada a las transiciones de pH.</li> <li>- Puede verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.</li> <li>- Origina materiales de residuo tóxicos.</li> <li>- Operación y sustento altamente calificados.</li> <li>- Costo comparativamente alto.</li> </ul>

**Fuente:** Adaptado de Volesky, 2001; Ahmed, 2001; Kanamadi et al, 2006; Petrusovski, 2007; Wang y Chen, 2009.

### **Adsorción y Absorción:**

- Cuando una sustancia se aglutina a una superficie se nombra adsorción, es este caso, la sustancia se incrusta a la superficie interna del carbón activo.
- Cuando la sustancia es absorbida en un medio diferente se le nombra absorción.
- Cuando un gas es atraído dentro de una solución se llama adsorción.

### **La Bioadsorción como proceso varío para remediación de metales pesados en agua:**

El vocablo ‘bio adsorción’ alcanza un transcurso pasivo de conquista de variedades, agregados o partículas metálicas o metaloides de una solución acuosa por material adsorbente de material biológico, determinados biomasa. En este proceso las especies metálicas son retenidas por ‘sitios’ químicos (grupos de captura) consecuentemente presentes y eficaces inclusive cuando las biomosas están muertas.

Grandiosos valores de metales logran ser almacenados por una diversidad de metodologías, anexo o libremente del metabolismo. La proporción de biomasa viva como muerta, así como productos celulares como polisacáridos, logran ser utilizados para la remediación de metales en medio acuoso.

Según Nilanjana Das, en aprovechamiento con los métodos convenidos de remediación de metales, la bio adsorción presenta las sucesivas mejorías relativas:

Gran beneficio y posesiones selectivas: el beneficio de la adsorción metálica de las disparejas características de biomasa logra ser selectiva en mayor o menor prudencia a diferentes metales. Dependiendo de muchos componentes como el espécimen de biomasa, los métodos de elaboración (incluyendo pre - tratamiento físico-químico), la mezcla de la solución, entre otros.

- Regenerativos: unos bio adsorbentes logran ser nuevamente usados después que el metal es reconsiderado.
- Se forman una minúscula cuantía de fangos: se comprimen las dificultades secundarias, vinculados con la descendencia de fangos, que ocurren con otras

metodologías como la precipitación química. Sin embargo, estos mismos métodos de bio adsorción asimismo muestran indiscutibles decadencias como:

- Alígera hartura, puesto que pende de los lugares o conjuntos de presa mediante los cuales se origina la interacción con los metales.
- El potencial para optimizar los métodos orgánicos es restringido ya que las células de biomasa ya no pueden metabolizar (en el caso del uso de biomasa muerta).

**Tabla 9.**

Tipos de biomosas naturales usadas para la preparación de biosorbentes.

Categoría de biomasa	Ejemplos
Bacterias	- Bacterias gran – positivas, gran – negativas y cianobacterias.
Hongos	- Mohos, setas y levaduras
Algas	- Micro algas, algas marrones, algas marinas rojas, etc
Despojos Industriales	- Despojos de fermentación, residuos de la industria de alimentos, bebidas, plásticos, lodos activados y lodos anaeróbicos.
Despojos Agroindustriales	- Despojos de frutas y vegetales, cascarillas de caña, salvado de cebada, salvado de trigo, etc.
Despojos Naturales	- Despojos de plantas y vegetales, aserrín, cortezas de árboles, hierbas, etc.
Otros	- Materiales con altos contenidos de quitina, fertilizantes y celulosa.

**Fuente:** Acomodado de Park Yun y Park, 2010.

**Parámetros que influyen en el proceso de bio adsorción.**

Para obtener mayores consecuencias en la remediación de metales pesados convenimos poseer presente los primordiales elementos que intervienen en el desarrollo de la bioadsorción, entre ellos tenemos:

### **Efecto del Ph de la disolución.**

El pH es el elemento de mayor importancia en el desarrollo de la bioadsorción, instituye la especiación del metal, grado de protonación y deprotonación de los grupos eficaces que perturbará el transcurso de adsorción.

La bioadsorción está enérgicamente afectada por el pH debido a que los iones de hidrogeno constituyen un adsorbato competidor tanto en la adsorción de cationes (pH mayor a 4,5), como en la adsorción de aniones (pH entre 1,5 y 4).

Existen tres maneras en las que el pH intercede en el transcurso de la bioadsorción:

- En primer lugar, el valor de pH puede variar el estado químico de los sitios activos de esta forma grupos ácidos expiden protones en medios básicos y atraen protones en medios ácidos.
- En segundo lugar, bienes extremos de pH podría causar daños en la estructura del bioadsorbente
- En tercer lugar. la especiación del metal depende del pH.

### **Efecto de la temperatura en la disolución.**

La temperatura es considerada una medida de menor importancia y no origina un gran impacto durante el proceso de biorremediación; sin desmerecerlo, se han justificado en unos estudios que la temperatura tiene relación en cuanto a la velocidad y el grado de bioadsorción.

### **Tamaño de la partícula.**

En la bioadsorción el tamaño y proporción de la partícula desarrolla un papel importante originado a que induce no sólo en la propiedad de adsorber, sino que interviene también en la velocidad del resultado o cinética de adsorción. La presencia de un gran número de centros activos que se pueden emplear para la reacción y la simplicidad con la que el material de absorción puede adherirse a ellos, con un mínimo de limitaciones a la propagación en el interior de poros, es causa de su aumento de capacidad de retención con la baja del tamaño de la partícula.

### **Tiempo de contacto:**

El tiempo en contacto o tiempo de equilibrio se refiere al instante en el que se satura el material de bioadsorción y por más que se conserve en unión el metal con el material sorbente, este no variará la cantidad de metal extraído.

El tiempo que se encuentra en contacto es totalmente importante para desarrollar posteriormente estudios y poder reparar el proceso, este pende de la misma manera en la aglomeración del metal pesado o la dosis de remediación. Por lo general este proceso puede solicitar pocas horas, inclusive minutos dependiendo de las peculiaridades de la infusión y concentración del metal.

### **Tipo y concentración inicial del metal:**

Los parámetros físicos y químicos de los metales estipulan su conducta en disolvente lo que conlleva a una interacción distinta con la superficie del sólido. Como resultado, la característica de retención de los sólidos pende también del tipo de metal.

Aparte del espécimen de metal, es significativo saber cuál es el aumento máximo de iones metálicos que logra adsorber el bioadsorbente a manejar, esta capacidad estará sujeta a los contextos a realizarse en su ejecución, así como la temperatura a la que se llevará a cabo la disolución para poder contemplar los resultados esperados y así poder obtener nueva información referente al tratamiento de metales pesados.

### **Procedimiento de los ensayos a aplicarse:**

#### **- Ensayo de ATD:**

El ensayo se refiere a someter la muestra de algún material inerte en cuanto al ámbito físico, químico y térmico; a ciertas temperaturas durante un periodo de tiempos (temperaturas constantes) o temperaturas alcanzadas en cierto momento. Esta toma de medidas se realiza mediante un control de temperaturas para poder observar el comportamiento del material y saber si dan reacciones endotérmicas o exotérmicas de parte de la muestra, a través de este cambio constante de temperaturas podremos saber si el material de estudio sufre un aumento o disminución de sus propiedades y características originadas a su reacción a la temperatura que se le someta.

#### **- Fluorescencia de Rayos X.**

La ceniza en polvo (0,5000 g) se funde con 6,0000 g tetraborato de litio (Spectromelt a 1000), para demoler su composición de partículas y mineralógica, a 1200°C durante 11 minutos en una máquina de fusión (PERL X3 - Philipps).

El fundido resultante se somete a una colada en forma de perla de vidrio que consecutivamente se introduce en el espectrómetro de FRX (SRS 3000 Bruker). En la perla se calculan las intensidades de fluorescencia de los rayos x de los elementos solicitados y se analiza la composición química de las cenizas en relación a unas gráficas o ecuaciones de calibrado determinadas preliminarmente y aplicando correcciones para los efectos inter elementales. Las ecuaciones de calibrado y las correcciones inter elementales se instauran a partir de perlas elaboradas con materiales de referencia certificados.

#### **- Ensayo de cantidad de cobre en el agua.**

El analizador portátil de metales pesados metal ser hm 1000 es el equipo principalmente planteado para exámenes en campo de manera sencilla, rápida y efectiva de metales pesados en niveles bajos de: Cobre, Cadmio, Arsénico, Mercurio y Plomo; Suministra deducciones en parte de billón (ppb). Pueden ser manejados en laboratorio o en campo con resultados rápidos, menos de 10 minutos, además de poseer electrodos reemplazables.

#### **Aplicaciones:**

- Analizar la calidad de agua.
- Monitorear el medio ambiente y la contaminación presente en este.
- Efluentes industriales de agua tratada.

#### **Biofiltro.**

El Biofiltro es un reactor que tiene el proceso de filtración y biodegradación de agentes contaminantes que tienen las aguas en una sola etapa de tratamiento, es una opción económica y de mayor validez para el tratamiento de aguas superficiales y es más eficaz que otras alternativas técnicas.

#### **Clasificación de los filtros.**

Los filtros biológicos se archivan por las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas.

Las categorías en las que se parten son dinámico, grueso y lento. A menudo se utilizan sistemas de filtros de dos etapas en los que se conectan en serie dos filtros.

### **Filtro dinámico.**

Consiste en meter el agua por piedras de desiguales tamaños, las cuales efectúan con la tarea de barrer con las materias gruesas que trae el agua.

Estos tanques o filtros dinámicos son los que sujetan un manto estrecho de fina grava (6 a 13 mm) en la superficie, encima de una cama gruesa de grava (13 – 25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

Este mecanismo es manejado con el fin de dominar las cimas de turbidez y proteger de dicha forma el lugar de mejoramiento ante los sólidos con altas cargas transportados por su origen en horas reducidas.

### **Filtro grueso.**

Para la desinfección del agua es la filtración gruesa y consiste en ubicar el agua a través de piedras de desiguales tamaños, las cuales se inmovilizan todavía más partículas.

Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento especial donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de las gravas disminuye en el sentido del flujo.

Conforme va funcionando el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad.

### **Filtro lento.**

El agua se introduce en un cajón que contiene esta arena y es sometido por una piedra fina dentro de la cual unos tubos recogen el líquido. El tratamiento de agua es una unidad de permeabilidad lenta en arena, siendo resultado de un acumulado de aparatos de origen físico y biológico, que interactúan de forma complicada para optimizar la eficacia del agua a nivel microbiológico.

Radica en una cama de fina arena dentro de un pozo, instalado encima de un manto de grava que forma el sustentáculo de dicha arena que, a su vez, se halla encima de un régimen de conducciones caladas recogiendo agua depurada. La salida en bajada con una prontitud de permeabilidad en descenso que logra ser vigilada y preferible el acceso al pozo.

### **Propiedades del Cobre.**

Muchos factores y procesos influyen en la presencia de Cobre en aguas. Entre los factores importantes están dureza y alcalinidad del agua, fuerza iónica, pH y potencial redox. Entre los procesos que pueden influenciar el destino del Cobre en el sistema acuático están:

- Formación de complejos con ligandos inorgánicos y orgánicos; sorción en óxidos metálicos, arcillas y material orgánico particulado; bioacumulación e interacción entre sedimento y agua. La especiación química del cobre en aguas, es muy compleja.

- Se puede diferenciar entre fracción soluble e insoluble. La fracción insoluble incluye coloides de cobre inorgánico y cobre adsorbido en otros coloides o materias suspendidas. La fracción soluble es mucho más relevante con respecto a la fracción biodisponible y consiste en iones de cobre hidratados (fácilmente disponibles) y una variedad de complejos orgánicos e inorgánicos. La concentración de equilibrio de muchos de estos complejos podría ser calculada si se conocieran las constantes de estabilidad y concentraciones de los ligandos. Las concentraciones de estos ligandos son a menudo desconocidas y las constantes de estabilidad y los complejos metal-ligandos son dependientes del pH.

- En ambientes acuáticos naturales el Cobre se presentará, principalmente, como Cobre (II). De esta especie divalente, sólo una pequeña fracción se presentará como “libre” ( $\text{Cu}^{++}$ ), la mayor parte estará adsorbida en partículas suspendidas o formando complejos con diversos ligandos.

- Entre los ligandos de mayor importancia están los hidróxidos y carbonatos, también amonio, cloruros y sulfatos, todos ellos de común ocurrencia en aguas naturales. En el caso de orgánicos, los principales ligandos son los ácidos húmicos y fúlvicos que constituyen la materia orgánica natural del agua.

- Por este motivo, casi todo el Cobre en aguas naturales estará formando complejos los que pueden ser adsorbidos por una variedad de óxidos metálicos hidratados (Fe, Al, Mn).

**Tabla 10.**

Componentes biológicos de la zeolita.

Componente	Porcentaje (%)
Porosidad	2.5
Adsorción	3.1
Intercambio ionico	2.7

**Fuente:** García, M. J, 2002 y Gregg y Sing, 1967.

**Tabla 11.** Composición química de la zeolita.

Componente	Simbología
- Aluminio.	Al
- Cobre.	Cu
- Silicio.	Si
- Hidrógeno.	H
- Oxígeno.	O
- Variables de moléculas de agua.	H <sub>2</sub> O

**Fuente:** Martins Neto y Di Serio, 2015.

## Aluminio:

Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

Propiedades	Aluminio (Al)
Valencia	3
Número atómico	13
Estado de oxidación	+3
Masa atómica	26,9815 g/mol
Densidad	2,70 g/ml
Punto de ebullición	2.450 °C
Punto de fusión	660 °C
Descubridor	Hans Christian Oersted en 1825

**Figura 1:** Composición química del aluminio.

(Fuente: <http://www.nationalgeographic.com.es>).

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio.

La configuración electrónica del elemento es  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ . El aluminio muestra una valencia de 3+ en todos sus compuestos, exceptuadas unas cuantas especies monovalentes y divalentes gaseosas a altas temperaturas.

El aluminio es estable al aire y resistente a la corrosión por el agua de mar, a muchas soluciones acuosas y otros agentes químicos. Esto se debe a la protección del metal por una capa impenetrable de óxido. A una pureza superior al 99.95%, resiste el ataque de la mayor parte de los ácidos, pero se disuelve en agua regia. Su capa de óxido se disuelve en soluciones alcalinas y la corrosión es rápida.

Su aplicación en la construcción representa el mercado más grande de la industria del aluminio. Millares de casas emplean el aluminio en puertas, cerraduras, ventanas, pantallas, boquillas y canales de desagüe. El aluminio es también uno de los productos más importantes en la construcción industrial. El transporte constituye el segundo gran mercado. Muchos aviones comerciales y militares están hechos casi en su totalidad de aluminio.

En los automóviles, el aluminio aparece en interiores y exteriores como molduras, parrillas, llantas (rines), acondicionadores de aire, transmisiones automáticas y algunos radiadores, bloques de motor y paneles de carrocería. Se encuentra también en carrocerías, transporte rápido sobre rieles, ruedas formadas para camiones, vagones, contenedores de carga y señales de carretera, división de carriles y alumbrado. En la industria aeroespacial, el aluminio también se encuentra en motores de aeroplanos, estructuras, cubiertas y trenes de aterrizaje e interiores; a menudo cerca de 80% del peso del avión es de aluminio.

### **Cobre.**

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos.

La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL COBRE

Designación del material		Composición en % (fracción másica)								
Símbolo	Número	Elemento	Cu	Ag	Bi	O	P	Pb	Otros elementos (ver notas)	
									Total	con exclusión
Cu-ETP	CW004A	min.	99,90 <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,0005	0,040 <sup>(2)</sup>	-	0,005	0,03	Ag, O	
Cu-FRHC	CW005A	min.	99,90 <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,0005	0,040 <sup>(2)</sup>	-	-	0,04	Ag, O	
Cu-OF	CW008A	min.	99,95 <sup>(1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,0005	_(3)	-	0,005	0,03	Ag	
CuAg 0,04	CW0011A	min.	Resto	0,03	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,05	0,0005	0,040	-	-	0,03	Ag, O
CuAg 0,07	CW0012A	min.	Resto	0,06	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,08	0,0005	0,040	-	-	0,03	Ag, O
CuAg 0,10	CW0013A	min.	Resto	0,08	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,12	0,0005	0,040	-	-	0,03	Ag, O
CuAg 0,04P	CW0014A	min.	Resto	0,03	-	-	0,001	-	-	-
		máx.	-	0,05	0,0005	_(3)	0,007	-	0,03	Ag, P
CuAg 0,07P	CW0015A	min.	Resto	0,06	-	-	0,001	-	-	-
		máx.	-	0,08	0,0005	_(3)	0,007	-	0,03	Ag, P
CuAg 0,10P	CW0016A	min.	Resto	0,08	-	-	0,001	-	-	-
		máx.	-	0,12	0,0005	_(3)	0,007	-	0,03	Ag, P
CuAg 0,04(OF)	CW0017A	min.	Resto	0,03	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,05	0,0005	_(3)	-	-	0,0065	Ag, O
CuAg 0,07(OF)	CW0018A	min.	Resto	0,06	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,08	0,0005	_(3)	-	-	0,0065	Ag, O
CuAg 0,10(OF)	CW0019A	min.	Resto	0,08	-	-	-	-	-	-
		máx.	-	0,12	0,0005	_(3)	-	-	0,0065	Ag, O
Cu-PHC	CW0020A	min.	99,95 <sup>(1)</sup>	-	-	-	0,001	-	-	-
		máx.	-	0,0005	_(3)	0,006	0,005	0,03	Ag, P	
Cu-HCP	CW0021A	min.	99,95 <sup>(1)</sup>	-	-	-	0,002	-	-	-
		máx.	-	0,0005	_(3)	0,007	0,005	0,03	Ag, P	

**Figura 2:** Composición química del Cobre.

(Fuente: <http://www.gindre.com>).

El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

Un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de 8.96 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94. El punto de fusión del cobre es de 1083.0 (+/-) 0.1°C (1981.4 +/- 0.2°F). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F). El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético.

Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre acompañada de una alta ductibilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas de un metal dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal está.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre (II) pentahidratado o azul de vitriolo,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Otros incluyen la mezcla de Burdeos;  $3\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuSO}_4$ ; verde de París, un complejo de metaarsenito y acetato de cobre; cianuro cuproso,  $\text{CuCN}$ , óxido cuproso,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; cloruro cúprico,  $\text{CuCl}_2$ ; óxido cúprico,  $\text{CuO}$ ; carbonato básico cúprico; naftenato de cobre, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca. Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores.

### **Silicio.**

Símbolo Si, número atómico 14 y peso atómico 28.086. El silicio es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Es un metaloide con marcado lustre metálico y sumamente quebradizo. Por lo regular, es tetravalente en sus compuestos, aunque algunas veces es divalente y es netamente electropositivo en su comportamiento químico. Además, se conocen compuestos de silicio pentacoordinados y hexacoordinados.

El silicio elemental crudo y sus compuestos intermetálicos se emplean como integrantes de aleaciones para dar mayor resistencia al aluminio, magnesio, cobre y otros metales. el silicio metalúrgico con pureza del 98-99% se utiliza como materia prima en la manufactura de compuestos organosilícicos y resinas de silicona, elastómeros y aceites. Los chips de silicio se emplean en circuitos integrados. Las células fotovoltaicas para la conversión directa de energía solar en eléctrica utilizan obleas cortadas de cristales simples de silicio de grado electrónico. El dióxido de silicio se emplea como materia prima para producir silicio elemental y carburo de

silicio. Los cristales grandes de silicio se utilizan para cristales piezoeléctricos. Las arenas de cuarzo fundido se transforman en vidrios de silicio que se usan en los laboratorios y plantas químicas, así como en aislantes eléctricos. Se emplea una dispersión coloidal de silicio en agua como agente de recubrimiento y como ingrediente de ciertos esmaltes.

El silicio elemental tiene las propiedades físicas de los metaloides, parecidas a las del germanio, situado debajo de él en el grupo IV de la tabla periódica. En su forma más pura, el silicio es un semiconductor intrínseco, aunque la intensidad de su conducción se ve enormemente incrementada al introducir pequeñas cantidades de impurezas.

El silicio se parece a los metales en su comportamiento químico, es casi tan electropositivo como el estaño y mucho más positivo que el germanio o el plomo; de acuerdo con este carácter más bien metálico, forma iones tetrapositivos y diversos compuestos covalentes; aparece como un ion negativo sólo en unos pocos siliciuros y como un constituyente positivo de oxiácidos o aniones complejos.

Forma varias series de hidruros, diversos halogenuros (algunos de los cuales contienen enlaces silicio-silicio) y muchas series de compuestos que contienen oxígeno, que pueden tener propiedades iónicas o covalentes.

El silicio se encuentra en muchas formas de dióxidos y en innumerables variaciones de los silicatos naturales. Para un análisis de las estructuras y composiciones de las clases representativas.

Por su abundancia, el silicio excede en mucho a cualquier otro elemento, con excepción del oxígeno. Constituye el 27.72% de la corteza sólida de la Tierra, mientras que el oxígeno constituye el 46.6% y el siguiente elemento después del silicio, el aluminio se encuentra en un 8.13%.

Se sabe que el silicio forma compuestos con 64 de los 96 elementos estables y probablemente forme siliciuros con otros 18 elementos. Además de los siliciuros metálicos, que se utilizan en grandes cantidades en metalurgia, forma compuestos importantes y de empleo frecuente con hidrógeno, carbono, los halógenos, nitrógeno,

oxígeno y azufre. Además, se han preparado derivados organosilícicos de gran utilidad.

### **Hidrógeno.**

Primer elemento de la tabla periódica, en condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas,  $H_2$ . El átomo de hidrógeno, símbolo H, consta de un núcleo de unidad de masa. Existen 3 isótopos del hidrógeno: el protio, de masa 1, que se encuentra en más del 99.98% del elemento natural; el deuterio, de masa 2, que se encuentra en la naturaleza aproximadamente en un 0.02%, y el tritio, de masa 3, que aparece en pequeñas cantidades en la naturaleza y un solo electrón. Tiene número atómico 1 y peso atómico de 1.00797. Es uno de los constituyentes principales del agua y de toda la materia orgánica, y está distribuido de manera amplia no sólo en la Tierra sino en todo el universo. naturaleza, pero que puede producirse artificialmente por medio de varias reacciones nucleares.

El hidrógeno es un poco más soluble en disolventes orgánicos que en el agua, muchos metales absorben hidrógeno. La adsorción del hidrógeno en el acero puede volverlo quebradizo, lo que lleva a fallas en el equipo para procesos químicos.

A temperaturas ordinarias el hidrógeno es una sustancia poco reactiva a menos que haya sido activado de alguna manera; por ejemplo, por un catalizador adecuado, a temperaturas elevadas es muy reactivo.

Aunque por lo general es diatómico, el hidrógeno molecular se disocia a temperaturas elevadas en átomos libres, el hidrógeno atómico es un agente reductor poderoso, aun a la temperatura ambiente; reacciona con los óxidos y los cloruros de muchos metales, entre ellos la plata, el cobre, el plomo, el bismuto y el mercurio, para producir los metales libres.

Reduce a su estado metálico algunas sales, como los nitratos, nitritos y cianuros de sodio y potasio; reacciona con cierto número de elementos, tanto metales como no metales, para producir hidruros, como el NaH, KH,  $H_2S$  y  $PH_3$ . El hidrógeno atómico produce peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ , con oxígeno. Con compuestos orgánicos, el

hidrógeno atómico reacciona para generar una mezcla compleja de productos; con etileno,  $C_2H_4$ , por ejemplo, los productos son etano,  $C_2H_6$ , y butano,  $C_4H_{10}$ . El calor que se libera cuando los átomos de hidrógeno se recombinan para formar las moléculas de hidrógeno se aprovecha para obtener temperaturas muy elevadas en soldadura de hidrógeno atómico.

El hidrógeno reacciona con oxígeno para formar agua y esta reacción es extraordinariamente lenta a temperatura ambiente; pero si la acelera un catalizador, como el platino, o una chispa eléctrica, se realiza con violencia explosiva. Con nitrógeno, el hidrógeno experimenta una importante reacción para dar amoníaco.

El hidrógeno reacciona a temperaturas elevadas con cierto número de metales y produce hidruros. Los óxidos de muchos metales son reducidos por el hidrógeno a temperaturas elevadas para obtener el metal libre o un óxido más bajo. El hidrógeno reacciona a temperatura ambiente con las sales de los metales menos electropositivos y los reduce a su estado metálico. En presencia de un catalizador adecuado, el hidrógeno reacciona con compuestos orgánicos no saturados adicionándose al enlace doble.

### **Oxígeno.**

Elemento químico gaseoso, símbolo O, número atómico 8 y peso atómico 15.9994. Es de gran interés por ser el elemento esencial en los procesos de respiración de la mayor parte de las células vivas y en los procesos de combustión. Es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Cerca de una quinta parte (en volumen) del aire es oxígeno.

Existen equipos capaces de concentrar el oxígeno del aire, son los llamados:

- Generadores.
- Concentradores de oxígeno que son los utilizados en los balones de oxígeno.

El oxígeno gaseoso no combinado suele existir en forma de moléculas diatómicas,  $O_2$ , pero también existe en forma triatómica,  $O_3$ , llamada ozono.

El oxígeno se separa del aire por licuefacción y destilación fraccionada, las principales aplicaciones del oxígeno en orden de importancia son:

- Fundición.
- Refinación.
- Fabricación de acero y otros metales.

En condiciones normales el oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido; se condensa en un líquido azul claro. El oxígeno es parte de un pequeño grupo de gases ligeramente paramagnéticos y es el más paramagnético de este grupo. El oxígeno líquido es también ligeramente paramagnético.

Casi todos los elementos químicos, menos los gases inertes, forman compuestos con el oxígeno. Entre los compuestos binarios más abundantes de oxígeno están el agua, H<sub>2</sub>O y la sílica, SiO<sub>2</sub>; componente principal de la arena. De los compuestos que contienen más de dos elementos, los más abundantes son los silicatos, que constituyen la mayor parte de las rocas y suelos.

### **Moléculas de agua.**

El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O) unidos por un enlace covalente. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque esta puede hallarse en su forma sólida, llamada hielo y en su forma gaseosa, denominada vapor. Es una sustancia bastante común en la Tierra y el sistema solar, donde se encuentra principalmente en forma de vapor o de hielo, es indispensable para el origen y sustento de la vida.

El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre, se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74 %, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales concentran el 1,72 %. El restante 0,04 % es el agua dulce disponible en el planeta, de la cual depende la vida en el mismo, que se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

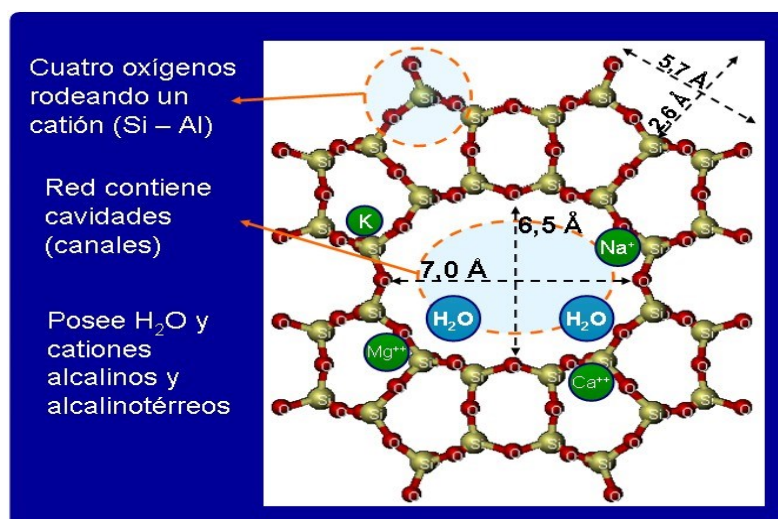
La vida en la tierra está directamente relacionada al agua. Las personas están compuestas de agua corporal que varía del 45% al 73%, el agua circula

constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación y desplazamiento hacia el mar. Los vientos la transportan en las nubes, como vapor de agua, desde el mar, y en sentido inverso tanta agua como la que se vierte desde los ríos en los mares, en una cantidad aproximada de 45 000 km<sup>3</sup> al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74 000 km<sup>3</sup> anuales, por lo que las precipitaciones totales son de 119 000 km<sup>3</sup> cada año.

Se estima que aproximadamente el 70 % del agua dulce se destina a la agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20 % del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente en una gran variedad de procesos industriales.

### **Zeolita.**

Las zeolitas naturales son minerales de aluminio-silicatos hidratados con una estructura porosa y propiedades fisicoquímicas valiosas, además del intercambio de cationes, entre las que se cuentan el cribado molecular, la catálisis y la absorción [Ríos et al., 2013]. De manera simple, se trata de una red tridimensional que consiste en unidades tetrahedrales de sílice y alúmina unidas a un átomo de oxígeno compartido. El reemplazo isomorfo de Si<sup>4+</sup> por Al<sup>3+</sup> resulta en una carga negativa global que es compensada con diversos cationes, otorgando a este material propiedades adicionales a las estructurales (Wang & Peng, 2016).



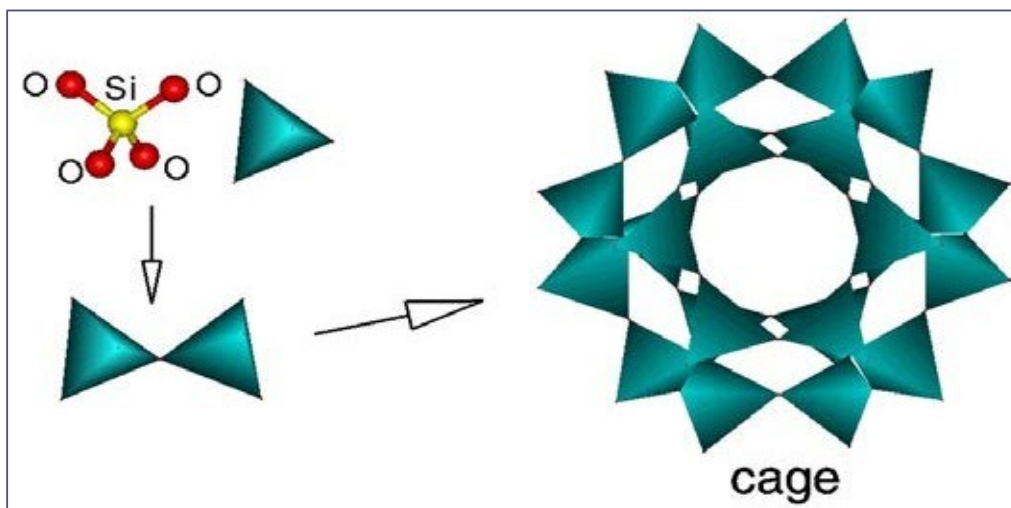
**Figura 3:** Composición de la zeolita.

(Fuente: <http://crystals.ethz.ch/IZA-SC/3D-images/FWviewer.php>).

El término zeolita se utiliza para designar a una familia de minerales naturales con propiedades particulares como el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Esta última propiedad es la que da origen a su nombre, que se deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra.

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos (especialmente Na, K, Mg y Ca), estructurado en redes cristalinas tridimensionales, tetraedros compuestos de Si O<sub>4</sub> y AlO<sub>4</sub> tipo nos unió vértices a través de átomos de oxígeno.

Durante las últimas décadas a lo largo de los años se ha comprobado el gran desempeño y utilidad que las zeolitas naturales han tenido, en varias de las ramas tanto de la economía, como la salud y construcciones.



**Figura 4:** Unidad estructural básica de una zeolita.

(Fuente: <http://www.sciwrite.caltech.edu>).

Gracias a diferentes investigaciones, se ha logrado encontrar más aplicaciones para el uso de este mineral, científicos y técnicos han dedicado especial atención a un grupo de aluminosilicatos cristalinos, llamados por el nombre de zeolitas, llevando a cabo una labor investigadora muy amplia sobre su síntesis, estructura y propiedades, como resultado, se han obtenido un gran número de patentes sobre la preparación de diferentes tipos de zeolitas y sobre catalizadores basados en ellas, así como toda una

serie de aplicaciones industriales de gran interés, que van desde un simple proceso de secado a complicadas reacciones catalíticas. (Chen, 2015).

Aunque la divulgación de las zeolitas ha tenido lugar en los últimos cuarenta años, el descubrimiento de zeolitas naturales data de 1756, cuando el geólogo A. Cronstedt [Cronstedt, 1756]. Pronto se observó que estos minerales eran capaces de intercambiar sus iones metálicos en disoluciones acuosas y que, una vez anhidros, podían absorber selectivamente distintos compuestos. Por todo ello también se les llamaron tamices moleculares.

Utilizar un material inorgánico como lo es la zeolita a manera de una adición mineral, e incorporarla al cemento para obtener un cemento puzolánico.

Estas adiciones incorporadas al cemento se las realiza con el fin de mejorar sus propiedades, obteniendo un producto igualmente resistente y más económico.

### **Características Generales de la Zeolita.**

Las zeolitas naturales son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las ocurrencias hidro-termales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas.

Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas (Jiexiang y Surent, 1993) dentro de esas se incluyen: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita.

La mayoría de las ocurrencias de zeolita puede ser encontrada en uno de los seis ambientes geológicos (Clifont, 1987; Luz, 1994; Mumpton, 1973; Sheppard, 1975): salino o lagos alcalinos, suelos alcalinos, diagenético, sistema abierto, hidrotermal y sedimentos marinos.

### **Producción de la zeolita.**

La síntesis de zeolitas se logra en medio acuoso y aplicando calor. La cristalización del material zeolítico se obtiene utilizando un agente director de estructura o ADE, agua, fuente de silicio (Silicio coloidal, alcóxidos de silicio o dióxido de silicio) y un agente mineralizante de silicio ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$ ).

Las zeolitas naturales se formaron después de millones de años a partir de cenizas volcánicas depositadas en lagos de agua salada. Con el tiempo y bajo el efecto del medio alcalino, las cenizas se alteraron y cristalizaron para convertirse en zeolitas.

### **Zeolitas en el Perú.**

Zeolita	Átomos de O que forman la abertura	Diámetro de poro $\Theta$ (A)	Ejemplos
Poro extragrande.	18	$9 \geq 9$	MCM - 9, VPI - 5
Poro grande.	12	$6 < 9 \leq 9$	Y, P, Q
Poro mediano.	10	$5 < 6 \leq 9$	ZSM - 5, ZSM - 11
Poro pequeño.	8	$3 < 5 \leq 9$	Erionita, A

MINERAL/ANOS	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
PLATA (grs.)	1,589,056.33	2,934,238.00	1,198,390.29	577,052.19	2,521,406.45	9,989,045.84
CALIZA (ton.)	5,309,485.09	3,862,043.12	6,838,391.04	6,319,428.21	3,862,043.12	30,053,698.19
MAT. CONST.(m <sup>3</sup> )	12,385,717.31	13,725,747.16	10,653,047.66	14,844,896.05	6,653,242.40	65,962,989.49
ARCILLA (ton.)	2,016,027.00	1,949,509.49	1,412,989.66	776,307.72	538,622.31	8,108,308.86
FELDESPATO (ton.)	103,498.36	152,590.17	210,142.38	183,259.13	253,253.46	1,059,631.56
CAOLIN (ton.)	95,061.60	42,563.90	100,194.74	40,236.36	2,583.06	321,729.06
BENTONITA (ton.)	0.00					510.27
SILICE (ton.)	83,274.68	136,806.40	90,564.77	80,868.95	84,473.16	536,006.76
WARMOL (ton.)	0.00		0.00			0.00
YESO (ton.)	0.00		0.00			0.00
POMEZ (ton.)	802,397.32	951,356.00	1,735,449.49	1,728,949.27	1,008,212.00	6,945,271.90
DIOXIDO CARB.(Kgs.)	512,070.30	415,365.00	294,547.00	228,535.00	82,051.00	1,659,002.30
BARITINA (ton.)	0.00					0.00
ZEOLITA (ton.)	0.00	28.20				148.10
COBRE (lb.)	0.00		0.00			0.00
TRAVERTINO (ton.)	0.00		0.00			0.00
ARENAS FERRUGINOSAS(ton.)	27,060.11	7,630.78	2,615.60	408.42	0.00	43,282.42
CONCENTRADO ORO(ton.)	5,401.77	4,100,262.49	963,374.76	873,858.11	73,887.35	6,016,784.48
CONCENTRADO COBRE(ton.)	953.54		945,548.11	596,630.00	7,169.97	1,550,301.62

**Figura 5:** Producción peruana del mineral zeolita.

(Fuente: <http://www.repositorio.unsa.edu.pe>).

### Obtención de la zeolita.

Las zeolitas de naturaleza volcánica son materiales microporosos compuestos de aluminosilicatos, sus estructuras son cavidades donde se ubican sustancias iónicas o moléculas de agua las mismas que pueden sufrir intercambio iónico o deshidratación.

Las zeolitas sintéticas presentan diversas características en función de sus aplicaciones industriales. Numerosos trabajos de investigación se han enfocado en la capacidad de intercambio iónico (CIC); ésta, está en función del contenido de aluminio de la red mineral y así como de su composición.

En general, la CIC está en relación inversa con el contenido de SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Zeolitas con CIC > 120 meq/100g manifiesta buen intercambio iónico, otras arcillas que no superan 30 a 50 meq/ 100g carecen de un intercambio iónico notable.

Los materiales zeolíticos son usados en la remediación y mitigación de aguas de desecho o servidas. Por intercambio iónico propio de los materiales zeolíticos los

iones indeseados de las aguas bajo impacto ecológico pueden ser eliminados del medio acuoso.

Los iones capturados se seleccionan en el orden: Cs<sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>3+</sup> [8-10]. Cuando el empleo contempla zeolitas sódicas el orden de selectividad es: Pb<sup>2+</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup> > Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> > Cd<sup>2+</sup> > Co<sup>2+</sup>. [11,12]. Las zeolitas sintéticas son agregadas a productos tales como detergentes, adsorbentes y catalizadores otorgándoles una plusvalía.

La síntesis de zeolitas se logra en medio acuoso y aplicando calor. La cristalización del material zeolítico se obtiene utilizando un agente director de estructura o ADE, agua, fuente de silicio (Silicio coloidal, alcóxidos de silicio o dióxido de silicio) y un agente mineralizante de silicio (OH<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>). Los cationes Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o NR<sub>4</sub><sup>+</sup> son empleados como ADE.

El rango de temperatura empleado en la síntesis es de 90 a 190°C. El interior poroso de la zeolita sintética es ocupado por el ADE orgánico y estabiliza la estructura. El material orgánico es a posteriori eliminado por extracción o combustión liberando el sistema microporoso. En el transcurso de la síntesis se da un ensamble de materiales inorgánicos y orgánicos por atracciones de Van der Waals. La obtención de un producto sintético amorfo o cristalino dependerá de las condiciones y materiales apropiados.

La variación en la composición de las soluciones y/o la variación de las condiciones de manipulación (que contempla factores cinéticos) permiten la obtención de zeolitas de diferente estructura o la misma zeolita con diferentes composiciones.

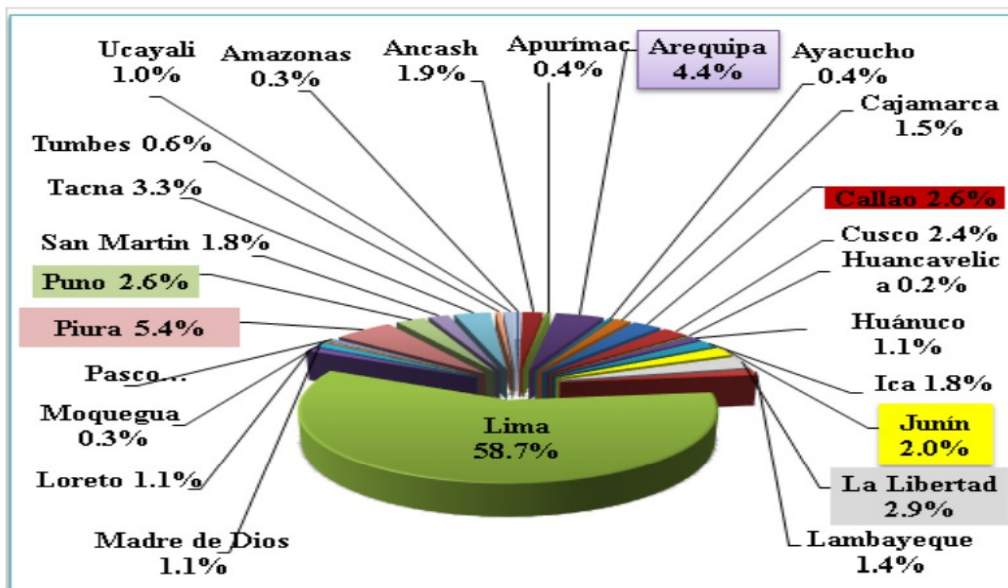


Figura 6: Participación en la producción de zeolita por regiones.

(Fuente: Ministerio de la Producción – Oficina de estudios económicos – Registro de empresas industriales – Ruc – Sunat -2016).

Las propiedades físicas de un mineral dependen directamente de su composición química y del arreglo geométrico de los diferentes átomos que lo constituyen, así como de la naturaleza de las fuerzas eléctricas atractivas entre ellos.

La determinación de estructura de zeolitas tipo heulandita y clinoptilolita demuestra que se trata de tetraedros de (Si, Al) O<sub>4</sub> unidos en capas de 0.9 nm de espesor mediante átomos de oxígeno.

El grado de ocupación de sitios catiónicos en las zeolitas naturales varía de 70 a 98%, esto incide en la cinética del proceso de intercambio iónico. Los sitios catiónicos son primordialmente ocupados por iones en función de su radio, y pueden ocupar también los sitios de las moléculas de agua.

La capacidad de intercambio (CIC) de una determinada masa de zeolita es la cantidad de equivalentes de un catión retenido por intercambio iónico, mientras que el número de equivalentes intercambiables por masa en una celda unitaria es la capacidad teórica de intercambio iónico máximo.

La capacidad teórica de intercambio no siempre se alcanza y se halla limitada por la presencia de lugares de intercambio de difícil acceso. Las zeolitas naturales

presentan una gran ventaja respecto de las sintéticas debido a su abundancia y precio; también son más convenientes debido a su mejor acondicionamiento para el intercambio además de una excelente estabilidad a los procesos químicos y térmicos, propiedades estas últimas, que permiten su reactivación termal y re - utilización en varios ciclos.

Por estos motivos las zeolitas naturales son preferidas sobre las sintéticas cuando su utilización es requerida en el tratamiento de aguas contaminadas.

Las zeolitas son variedades de rocas de origen volcánico conteniendo mezclas de minerales.

Zeolitas naturales de diversos orígenes geográficos han sido sujeto de estudio en cuanto a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Se ha establecido así, el comportamiento físico, mecánico y químico de algunas variedades extraídas en diferentes yacimientos del planeta, habiéndose comparado las diferencias de impacto en aplicaciones prácticas. Los estudios realizados han demostrado la gran variedad de zeolitas naturales debida a su composición química, teniendo cada tipo de zeolita sus propias aplicaciones.

También se ha investigado el uso de zeolitas naturales y sintéticas para diferentes objetivos, resultando el comportamiento de ambos tipos de materiales prácticamente similar.

En esta investigación se reporta el proceso de síntesis de una zeolita tipo NaP1, utilizando como material precursor un mineral zeolítico natural, el cual fue sometido a caracterización morfológica antes y después del proceso de activación.

Luego del proceso de síntesis, se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del mineral activado, resultando en un aumento de la misma para todos los ensayos realizados.

### **Rio Puruay – Cajamarca.**

La longitud del río Puruay (Mashcón) es de 30 Km aproximadamente. El caudal promedio anual estimado del río Puruay en Cajamarca es aproximadamente 2 900 L/s.



Cobre (Cu) en el río Puruay – ala Cajamarca.

Monitoreo realizado por ANA al río Puruay, punto RPorcon2.

**Tabla 12.**

Monitoreo del punto de monitoreo, Río Puruay - Cajamarca.

N <sup>o</sup>	Punto de monitoreo	Descripción	Localidad/Distrito Provincia/Departamento Ámbito ALA - Cajamarca	Coord. TM WGS 84 Zona Este Norte	Altura (m.s.n.m)	Observación
1	L cono 1	Vaciante del río Puruay a 50 m aguas abajo Laguna china linda	Cerro Quilish / Porcon Alto / Porcon Bajo Cajamarca	20 L 2550	2750	Anteriormente se le asigno el código LCono, Anteriormente se le asignó el código RYana
2	RYana 1	Río Quilish, 200 m antes de tributar al Río Porcon Río Puruay, 100m aguas arriba de los pasivos				
3	<b>RPorcon 1</b>	Mineros de Yanacocha, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca	Cerro Quilish / Porcon Alto Cajamarca	20 L 2550		
4	<b>RPorcon 2</b>	Río Porcon, 150m aguas debajo de los pasivos mineros de Yanacocha, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca.	Cerro Quilish / Porcon Alto Cajamarca	20 L 2550		

**Tabla 13:** Resultados del monitoreo de la cuenca del Rio Puruay – Cajamarca.

METALES TOTALES (mg/L)	L.C. (mg/L)	RIO SANTA RECUAY TICAPAMPA
Plata (Ag)	0,002	<0,002
Aluminio (Al)	0,02	17,42
<b>Arsenico (As)</b>	<b>0,005</b>	<b>3,893</b>
Boro (B)	0,003	1,520
Bario (Ba)	0,003	0,138
Berilio (Be)	0,0002	<0,0002
Calcio (Ca)	0,02	107,80
Cadmio (Cd)	0,0001	0,0247
Cerio (Ce)	0,009	<0,009
Cobalto (Co)	0,0006	0,0120
Cromo (Cr)	0,0003	0,0073
Cobre (Cu)	0,002	0,124
Hierro (Fe)	0,002	46,590
Mercurio (Hg)	0,001	<0,001
Potasio (K)	0,1	10,2
Litio (Li)	0,003	0,478
Magnesio (Mg)	0,02	12,47
Manganeso (Mn)	0,0003	5,3658

Monitoreo realizado por investigador al río Puruay – Cajamarca.

**Figura 8.** Resultados del monitoreo del rio Puruay – Cajamarca.

**Fuente:** Investigador Villanueva Herrera, Víctor, (2022).

**Tabla 14**

Resultados del monitoreo de la cuenca del Rio Puruay - Cajamarca

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

Se realizará una investigación de la calidad de agua en el Sistema de agua potable del Centro Poblado Huambocancha Baja, proveniente del río Puruay.

En el presente estudio se realizará una investigación de la calidad del agua en el sistema de agua potable que se trata en el Centro Poblado Huambocancha, proveniente de una captación, la cual ha sido construida por los propios usuarios, con apoyo de instituciones en el abastecimiento de materiales como la Municipalidad Provincial de Cajamarca y la Municipalidad del C.P. Huambocancha no saben el tipo de agua que están consumiendo. Se plantea determinar los contaminantes más relevantes que puedan poner en riesgo la salud de los habitantes a largo plazo; mediante análisis de laboratorio (Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca). Se realizará el diseño de filtros a base de zeolita, para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes, y de ser posible proyectarlo como solución de bajo costo, seguro y eficiente para su aplicación.

## **PROBLEMA:**

### **Realidad Problemática.**

- Acuicultura: Filtración de amonio en pisciculturas, medio para biofiltros.
- Agricultura: Control de olores, control medio ambiental de animales confinados, alimentación.
- Productos Industriales: Absorbente de aceites, separador de gases.
- Residuos Radiactivos: Descontaminación y remediación de lugares contaminados.
- Tratamiento de agua: Filtración, remoción de metales pesados, piscinas.
- Aguas Servidas: Remoción de amonio, fósforo y metales pesados en aguas servidas y lodos.

### **A Nivel Internacional.**

Ruiz (2013), en su tesis titulada Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la Parroquia San Isidro del Cantón Guano – Ecuador, buscan diseñar un sistema de tratamiento de Agua Potable para la Parroquia, cuyo objetivo es caracterizar el agua proveniente de la fuente hidrográfica, que se consume en la parroquia San Isidro,

para el desarrollo de esta investigación se realizó muestreo simple, con una toma semanal en la captación del agua, por el lapso de un mes, luego de lo cual, se efectuó el análisis en el laboratorio de Análisis Técnico, de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Los resultados de los análisis fueron tabulados en una hoja de cálculo, mismos que ayudaron a la identificación de las variables de proceso, adicionalmente se consideró la

Al finalizar las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio, y comparar los valores obtenidos en la caracterización final con aquellos de la caracterización inicial, de los 5 parámetros que no cumplían con lo estipulado en la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011, se constató que dichos valores fueron corregidos de manera satisfactoria, es decir que se logró que cumplan con lo estipulado en la norma antes mencionada, transformando el agua inicial cuyas características la hacían poco aceptable, en agua dotación de 120 L/h/d, para un total de 10735 habitantes proyectados a 20 años, con un caudal de 20,34 L/s, con estos valores se diseñó el sistema para potabilización, determinándose que se necesita un tanque de captación y otro de almacenamiento de 12,2 m<sup>3</sup> cada uno, un aireador de bandejas múltiples con 4 torres de 2 metros de alto y 3 bandejas cada una.

El filtro contendrá zeolita como medio filtrante y su volumen de 40 L, un tanque de cloración de 18,3 m<sup>3</sup>; este sistema fue validado por medio de un filtro compuesto por zeolita a nivel de laboratorio, llegando a tener una eficiencia del 89 % y un rendimiento del 96 %.

Aceptable, una vez concluido el tratamiento aplicado; por tanto, se pudo determinar la calidad del agua como poco aceptable para el consumo humano.

Pérez (2017), en su tesis titulada Análisis de zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos “Ayuda al Campesino” de la Parroquia La Matriz - Cantón Quero - provincia de Tungurahua – Ecuador, buscan analizar la zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos “Ayuda al Campesino” de la Parroquia La Matriz, el presente

trabajo experimental tiene como finalidad, evaluar la eficiencia de la Zeolita como material filtrante para el tratamiento de aguas residuales.

En base a los resultados, queda confirmada la hipótesis mencionada en este proyecto mencionando que la Zeolita si es eficiente para el tratamiento de aguas residuales, por lo cual deja abiertos temas de investigación para conocer su comportamiento con la combinación con otros materiales.

Los niveles de investigación que se utilizaron en este proyecto fueron: exploratoria, descriptiva, explicativa, experimental, de laboratorio. Los resultados demuestran que es dable purificar y optimizar la calidad de las aguas muy duras para el análisis químico mediante el empleo de zeolitas naturales, ya que se tuvieron concentraciones iniciales que posteriormente se redujeron. Al analizar la zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos se pudo verificar la hipótesis planteada que la zeolita es eficaz como medio filtrante debido a que los resultados de los análisis físico- químicos tienen un alto porcentaje de remoción en relación al DBO5 (82.60%), DQO (71.11%) y Aceites y Grasas (90.08%).



**Figura 9.** Naciones donde sus aguas han registrado presencia de cobre (Cu).

Fuente: [https:// www.worldenergytrade.com](https://www.worldenergytrade.com) – 2015.

### **A Nivel Nacional.**

Vela y Tuesta (2016), en su tesis titulada Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juningullo la Mina a escala piloto Moyobamba – 2016. Cuyo objetivo principal fue: Dimensionar los filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) para tratar el agua de la microcuenca Juningullo la Mina de la ciudad de Moyobamba a nivel piloto. Este proyecto de investigación buscó mejorar la calidad del agua de la quebrada Juningullo la Mina en su concentración de hierro y manganeso para que esta sea un agua apta para el consumo humano; donde se aplicó una batería de filtros de zeolita (clinoptilolita) y que estos metales cumplan con las concentraciones estipulados en el reglamento de calidad de agua para consumo humano, la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo fue experimental – aplicada.

Los resultados obtenidos fueron que el agua para ser utilizada para consumo humano es necesario un tratamiento avanzado, pudiendo ser estas un sistema de aireación, sedimentación, como pre tratamiento antes de la filtración, también se puede utilizar sistemas de floculación sedimentación para mejorar las condiciones finales del agua y se encuentre listo para consumo humano.

Llegando a la conclusión que, mediante la aplicación de una bacteria de filtros empacados en zeolita se registró resultados satisfactorios en remoción de hierro y manganeso permitiendo dar un tratamiento óptimo al agua de la quebrada Juningullo la Mina de la ciudad de Moyobamba.



**Figura 10.** Monitoreo de las aguas del río Puruay – Cajamarca.  
**Fuente:** Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019).

### **A Nivel Local.**

Haro (2015), en su tesis titulada El uso de la zeolita natural en el proceso de filtración rápida, en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito y provincia de San Miguel – Cajamarca, buscan determinar la eficiencia del proceso de filtración rápida, utilizando la zeolita natural como medio filtrante en el tratamiento de agua para consumo humano en la PTAP San Miguel.

El presente trabajo de investigación se enfocó en utilizar un medio filtrante distinto a lo convencional que se utiliza en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano. Teniendo en cuenta la calidad del agua que producen las EPS a nivel nacional muchas de ellas producen agua con parámetros que se acercan y hasta superan, en algunos casos, los límites establecidos en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

La metodología aplicada para la elaboración de la investigación fue diseñar, construir y usar un modelo a escala piloto del filtro a presión existente; utilizando como medio filtrante la zeolita de origen natural con una granulometría similar al medio filtrante que este caso la arena cuarzosa y comparar las eficiencias del proceso de filtración. El filtro experimental fue diseñado con los parámetros con el cual trabaja el filtro

existente (calidad de agua del ingreso, carga de energía disponible y condiciones ambientales).

Luego de realizar el análisis de resultados que comparó la calidad del agua filtrada en el medio filtrante zeolita natural, así como también el agua proveniente del filtro de arena tipo cuarzosa se determinó que presentan unas características muy deseables y están dentro del rango que establece el reglamento de calidad de agua para consumo humano del estado peruano.

Se observó que los parámetros del efluente de dichos filtros están dentro de los límites máximos permisibles en cuanto a la turbiedad, color, PH, coliformes fecales y coliformes totales, presentado valores por muy por debajo de los límites establecidos. En conclusión, el medio filtrante a base de zeolita natural presenta altos indicadores de eficiencia durante el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.



Figura 11. Monitoreo de las aguas del Rio Puruay – Cajamarca.  
Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019).

## Conceptuación y Operación de las Variables.

**Tabla 15.**

Variable dependiente: Remoción de cobre.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Remoción de las aguas del río Puruay	Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. <sup>2</sup> Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.	La calidad del agua del sistema de agua potable, se medirá con el índice de calidad del agua (ICA) es un valor que se asigna a un cuerpo de agua para cuantificar el estado en que se encuentra referido al uso o propósito con que se ha definido el índice, ya sea para asistir en la toma de decisiones o en procesos de divulgación del estado de los cuerpos de agua.	Consumible	D.S. 031 MINSA  Normas emitidas por la Autoridad Nacional del Agua - ANA	Lista de indicadores
			No consumible		

**Fuente:** Propia del investigador, 2022.

**Tabla 16.**

Variables independientes: mineral zeolita.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><b>Variable Independiente:</b> Aplicación de minerales (zeolita)</p>	<p>La zeolita es un mineral microporoso miembro del grupo de los aluminosilicatos, que se usa comercialmente como absorbente, aunque sus aplicaciones en la sociedad son variadas y van desde su uso en pastillas antidiarreicas, hasta como alimento para animales de granjas.</p>	<p>La aplicación de minerales (zeolita) se medirá mediante los diferentes filtros que se aplicará al sistema de agua potable</p>	<p>Filtros de zeolita</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de muestra.</li> <li>- Pre - tratamiento térmico.</li> <li>- Síntesis de material zeolítico.</li> <li>- Diseño experimental.</li> <li>- Proceso de experimentación.</li> <li>- Determinación de materiales pesados.</li> </ul>

**Fuente:** Propia del investigador, 2022.

## **HIPÓTESIS.**

Mediante un biofiltro, empleando la zeolita, mejoraría las aguas del río Puruay – Huambocancha Baja – Cajamarca.

## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo General.**

Determinar la remoción de las aguas del río Puruay utilizando un biofiltro, empleando la zeolita – Huambocancha Baja – Cajamarca.

### **Objetivos específicos.**

- Determinar la temperatura de calcinación de la zeolita mediante el ensayo del ATD (análisis técnico diferencial),
- Determinar los componentes químicos de la zeolita mediante un ensayo de eflorescencia de rayos X (FRX)
- Determinar la caracterización del agua (conductividad eléctrica, sólidos
- Elaborar el diseño hidráulico de un prototipo de biofiltro.
- Comparar y analizar los resultados mediante la prueba estadística.

## **METODOLOGÍA.**

### **TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

El tipo de investigación debe ser experimental de nivel Correlacional, ya que buscamos innovar nuestro proyecto con material zeolita proveniente del cerro el Gavilán de Cajamarca departamento de Cajamarca y porque consiste en asociar los ensayos del laboratorio como; El ensayo de ADT, Calcinación del material, ensayo de rayos Ph, ensayo de rayos X y limpieza de metales. Para resolver la problemática, remoción de mercurio del Rio Puruay – Huambocancha Baja en el departamento de Cajamarca.

Siendo el esquema del diseño de investigación el siguiente:

Muestra



Dónde:

M: muestra.

01: Observación de metales pesados antes de pasar el material compuesto.

02: Observación de metales pesados después de pasar el material compuesto.

X: Aplicación del material compuesto como el mercurio a partir del mineral zeolita.

### **POBLACIÓN.**

Conformada por el agua del rio Puruay – Huambocancha Baja – Cajamarca.

### **MUESTRA.**

El presente estudio toma SEIS muestras de agua, dos por semana obtenidas del Sistema de Agua potable del Centro Poblado Huambocancha Baja, Distrito y Provincia de Cajamarca.

Fecha de toma de muestra							
CAPTACIÓN	AFLUENTE	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	-	-	-	-	-	-	-

### **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN:**

- Para la elaboración del presente proyecto de investigación se determinó que el Centro Poblado de Huambocancha Baja, solamente existe un Sistema de Agua Potable.

- Revisión de trabajos previos de investigación: Se revisó tesis relacionados con el tema, además de fuentes bibliográficas para definir conceptos relacionados al trabajo de investigación.

- Sondeo: Se realizó Monitoreos del ANA (Autoridad Nacional del Agua) en el rio Puruay - Huambocancha Baja - Cajamarca, lugar donde se llevará a cabo el estudio.

- Ficha de recolección de datos: se tomó coordenadas de la zona, mediante Google Earth, para luego posteriormente poder sacar la muestra dada.

- Además, será efectuado por el laboratorio de la UNC (Universidad Nacional de Cajamarca), acreditado por INDECOPI como laboratorio de 32 ensayo con el

sistema de calidad basado en la Norma Técnica Peruana NTP- ISO/ IEC 17025: 2006, desde el año 2004.

ETAPA	FUENTE	TÉCNICAS	INSTRUMENTO	RESULTADOS
Recolección de la muestra.	Efluentes del Rio Puruay en Huambocancha Baja.	Observación	Ficha de observación de campo	Contaminado o no contaminado
Análisis físico químico.	Laboratorio acreditado.	Experimental	Informe de ensayo - Acreditado. - Resultado del análisis.	- Parámetros. - Iniciales.
Preparación y procesamiento de la muestra.	Efluentes del Rio Puruay en Huambocancha Baja	Experimental	Parámetros: - Físicos - Químicos	Concentración de contaminantes
Análisis físico, químico del efluente tratado	Laboratorio acreditado	Experimental	Informe de ensayo: - Acreditado. - Resultado del análisis.	Tratamiento.

**Elaboración de Biofiltro a escala para remover Cobre empleando la mineral zeolita.**

**Materiales Empleados:**

- 03 baldes de plástico transparente de 4Lt. con grifo.
- 01 hélice de 10cm de diámetro.
- 04 codos de 45° de 1/2".
- 02 llaves de paso de 1/2".

- 04 niples mixtos de 1/2".
- Malla organza (1m).
- Lija N°40 (1 plancha).
- Tubería PVC 1/2" (2m).
- Cinta teflón.
- Pegamento para tuberías.
- Mineral zeolita.
- 01 caja contraplacada de 14x14 cm.
- 01 sellador sikaflex.
- 01 tacómetro digital.
- Tornillos.

### **CONSIDERACIONES.**

Siendo un proyecto de investigación con un Nivel de Investigación Experimental y realizar ensayos de las muestras de nuestra población en un laboratorio se opta por usar como Técnica de Investigación: LA OBSERVACION CIENTIFICA. (Guía de observación resumen como instrumento), en donde se quiere ir comparando la variación de los niveles de mercurio que se removerán mediante la zeolita.

### **VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS.**

#### **VALIDEZ.**

Se presentarán instrumentos de validación, Ficha de registro de parámetros a medir en el Efluente del Rio Puruay en Cajamarca, Ficha de dosificación de mineral zeolita a la muestra del Efluente del Rio Puruay en Cajamarca. Ficha de capacidad de absorción de mercurio. Comparación de resultados finales. Dichos instrumentos han sido sometidos

a juicio de expertos, validando y revisando de manera independiente la coherencia que existe entre el contenido teórico, y los planteamientos de objetivos propuestos.

## **CONFIABILIDAD.**

En cuanto a la confiabilidad se utilizará el “método de Alfa Conbrach”, el cual servirá para medir el grado de confiabilidad de cada uno de los instrumentos utilizados en este proyecto.

El Alfa de Cronbach es un coeficiente que sirve para medir la fiabilidad de una escala de medida.

El alfa de Cronbach permite cuantificar el nivel de fiabilidad de una escala de medida para la magnitud inobservable construida a partir de las “n” variables observadas.

Teniendo como conocimiento que este método consiste en obtener un índice de consistencia interna que toma valores entre 0 y 1 y que sirve para comprobar si el instrumento que se está evaluando recopila información defectuosa y por lo tanto nos llevaría a conclusiones equivocadas o si se trata de un instrumento fiable que

hace mediciones estables y consistentes, es por tal motivo que se optara por realizar esta confiabilidad al momento de decidir la vulnerabilidad del proyecto.

Para la interpretación del Coeficiente Alfa de Cronbach se toma:

- Valor mínimo= 0.70; si hay un valor menor a este se considera correlación baja.
- Valor máximo= 0.90; si es mayor a este valor se trata de redundancia o duplicación.
- Usualmente los valores están entre 0.70 y 0.90.

$$\alpha = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right],$$

Donde:

$S_i^2$  es la varianza del ítem  $i$ ,

$S_t^2$  es la varianza de los valores totales observados y

$k$  es el número de preguntas o ítems.

A partir de las correlaciones entre los ítems, el alfa de Cronbach estandarizado se calcula así:

$$\alpha_{est} = \frac{kp}{1 + p(k - 1)},$$

Dónde:

$k$  es el número de ítems

$p$  : es el promedio de las correlaciones lineales entre cada uno de los ítems (se tendrán  $[k(k - 1)]/2$  pares de correlaciones).

Para el desarrollo de la presente investigación, los instrumentos que se utilizan según la naturaleza del trabajo, no aplica análisis estadístico para determinar su confiabilidad ya que son fichas de Observación, fichas y datos de campo. Para la confiabilidad de los parámetros analizados el laboratorio tiene en sus análisis Límites Máximos permisibles según el D.S

010-2018 MINAM para los metales pesados. La confiabilidad del instrumento se realizó mediante el Excel calculando el valor de alfa de crombach el cual permite asegurar la confiabilidad del instrumento propuesto.

## **PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION.**

La metodología que se empleará para el análisis de mercurio será determinada por el espectrómetro de absorción atómica. Este método se aplicará para determinar la concentración de metales pesados en las muestras de agua. Para su recolección se utilizarán envases de plástico de polietileno natural de capacidad de un litro los cuales serán rotulados para su posterior trasladados al laboratorio. Las muestras se conservarán a 4 °C, hasta su análisis.

Se aplicarán los métodos estadísticos, tanto descriptivos como inferenciales.

### **MÉTODOS DESCRIPTIVOS.**

Dentro de los métodos descriptivos, la recolección recolectada se clasificará sistemáticamente y se presentará en tablas estadísticas de distribución de frecuencias, además para visualizar mejor el comportamiento de variables se construirán como: Gráficos de barra, Gráficos de Circulares, Distribución de frecuencias, y se calcularán medidas estadísticas como: Media aritmética, Moda, varianza, desviación estándar, coeficiente de correlación lineal (coeficiente de Pearson).

### **MÉTODOS INFERENCIALES.**

Para proyectar los resultados de la muestra de población se aplicará el método de la estimación de parámetros de la resistencia de la media poblacional tanto puntual como interválica.

**Tabla 17.**

Resultados de barrido de metales en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.

N°	PUNTOS DE MONITOREO	ESTACIÓN	METALES PESADOS (mg L <sup>-1</sup> )															
			ALUMINIO		ARSENICO		HIERRO		CADMIO		MERCURIO		PLOMO		ZINC		MANGANESO	
			DISUELT O	TOTAL	DISUELT O	TOTAL	DISUELT O	TOTAL	DISUELT O	TOTAL	DISUELT O	TOTAL	DISUELT O	TOTAL	DISUE LTO	TOTAL	DISUE LTO	TOTAL
1	QCB	SECA			0.010	0.010												
		HÚMEDA	0.043	1.412	0.010	0.010	0.148	0.702		0.001	0.0003	0.0003		0.010	0.028	0.052	0.164	0.158
2	RG2	SECA	0.043	1.143	0.010	0.018	0.057	0.451		0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.052	0.052	0.416	0.239
		HÚMEDA	0.048	0.850	0.010	0.010	0.058	0.692		0.001	0.0003	0.0003		0.016	0.041	0.047	0.649	0.591
3	QE3	SECA	2.807	1.384	0.010	0.010	0.147	0.342		0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.512	0.159	1.830	0.533
		HÚMEDA	2.868	2.236	0.010	0.010	0.673	0.677	0.001	0.001	0.0004	0.0003		0.010	0.518	0.347	1.539	0.455
4	QQC	SECA	0.042	0.459	0.010	0.010	0.024	0.307	0.011	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.030	0.013	0.038	0.037
		HÚMEDA	0.082	0.542	0.010	0.010	0.073	0.442		0.001	0.0003	0.0003		0.067	0.025	0.019	0.036	0.059
5	RGP3	SECA	0.042	0.821	0.010	0.010	0.089	0.746		0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.107	0.045	0.492	0.225
		HÚMEDA	0.213	1.025	0.010	0.012	0.177	0.868		0.001	0.0003	0.0003		0.090	0.098	0.079	0.364	0.220
6	RGP3	SECA	0.044	0.596	0.010	0.014	0.288	0.936	0.001	0.001	0.0003	0.0004		0.022	0.021	0.014	0.057	0.102
		HÚMEDA	0.057	1.024	0.010	0.014	0.120	1.032		0.001	0.0004	0.0004		0.100	0.026	0.014	0.045	0.084
7	QV2	SECA		0.691	0.010	0.010	0.021	0.611		0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.072	0.042	0.418	0.271
		HÚMEDA	0.072	0.491	0.010	0.010	0.165	0.400		0.001	0.0003	0.0003		0.135	0.118	0.083	0.402	0.254
8	RGR	SECA	0.042	0.705	0.010	0.010	0.021	0.586	0.001	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.027	0.026	0.214	0.138
		HÚMEDA	0.193	1.800	0.010	0.012	0.083	1.329		0.001	0.0003	0.0003		0.246	0.072	0.051	0.263	0.199
PROMEDIOS GENERALES		SECA	0.503	0.851	0.010	0.011	0.104	0.561		0.001	0.0003	0.0004		0.012	0.125	0.051	0.508	0.212
		HÚMEDA	0.447	1.048	0.010	0.012	0.187	0.780	0.009	0.001	0.0003	0.0003		0.084	0.116	0.086	0.433	0.253

**Fuente:** Las evaluaciones se hicieron cada 30 días, desde diciembre del 2021 a noviembre del 2022.

## **Concentración promedio de metales pesados disueltos y totales por estación climática en todo el ámbito de evaluación.**

Los puntos de monitoreo de calidad de agua se ubicaron en diferentes zonas, dos de ellos se ubicaron en el río Puruay, cuatro en sus tributarios y uno, antes de la bocatoma de la planta de tratamiento de agua “El Milagro” (RGR,) que abastece de agua potable a la ciudad de Cajamarca.

El punto RGR, fue el último punto de evaluación del recorrido del río Puruay aguas abajo. Todas las aguas monitoreadas confluyen hacia este punto, tanto en los meses de lluvia como de verano, se captan 200 L para la planta, el resto continúa su curso como parte del recorrido del río Puruay que aguas más abajo se une al río Porcón (cerca de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro”) formando el río Mashcón.

En tal sentido, sin dejar de ser importantes el resto de puntos de monitoreo, el punto

RGR se convierte en el más significativo desde el punto de vista ambiental liderando que es el punto de ingreso de las aguas que luego de su tratamiento, se convierten en el agua potable que abastece a cerca del 70% de la población urbana de Cajamarca.

Las evaluaciones del monitoreo, se centraron principalmente en los metales pesados totales, mas no así en los metales disueltos, en tal sentido se decidió hacer el análisis principalmente de los metales totales encontrados en las aguas del río Puruay y sus afluentes durante todo el periodo de evaluación, aunque la toxicidad de los metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si ésta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos.

### **a. Concentración de metales pesados disueltos en la estación seca.**

Los metales disueltos que presentaron la mayor concentración en la época seca fueron el manganeso con 0,508 mg L<sup>-1</sup>; en segundo lugar, el aluminio con 0,503 mg L<sup>-1</sup>; en tercer lugar, el zinc con 0,125 mg L<sup>-1</sup> y en cuarto lugar el hierro con 0,104 mg L<sup>-1</sup>. Mientras que los metales con la menor concentración fueron: el mercurio con 0,0003 mg

L-1, seguido por el cadmio con 0,009 mg L-1, y en tercer lugar el arsénico con 0,10 mg L-1.

**b. Concentración total de metales pesados en la estación seca.**

Con relación a la concentración total de los metales para la misma estación, fue el aluminio el que presentó la mayor concentración con 0,851 mg L-1, seguido por el hierro con 0,561 mg L-1; en tercer lugar, estuvo el manganeso con 0,212 mg L-1 y en cuarto lugar el zinc con 0,051 mg L-1.

**c. Concentración de metales pesados disueltos en la estación húmeda.**

Con respecto a la estación húmeda, el metal pesado que presentó la mayor concentración en su condición de metal disuelto fue el aluminio con 0,447 mg L-1, seguido por el manganeso con 0,433 mg L-1, en tercer lugar el hierro con 0,187 mg L-1 y en cuarto lugar el zinc con 0,116 mg L-1, mientras que los metales con la menor concentración para la estación húmeda fueron: el mercurio con 0,0003 mg L-1, y en segundo lugar el cadmio y el arsénico ambos con 0,10 mg L-1 cada uno.

**d. Concentración total de metales pesados en la estación húmeda.**

Por su parte los metales con la mayor concentración total para la estación húmeda fueron: el aluminio con 1,048 mg L-1, seguido por el hierro con 0,780 mg L-1, en tercer lugar, el manganeso con 0,253 mg L-1 y en cuarto lugar el zinc con 0,086 mg L-1.

Los metales evaluados también variaron entre meses y entre estaciones, lo que podría entenderse que las fuentes aportantes de metales pesados al río Grande y sus afluentes son diversas.

Según Erlinch citado por Vílchez (2005), en los ecosistemas existe un aporte natural de iones metálicos que es asimilable por el medio, y muchos de estos elementos son necesarios para el desarrollo de los seres vivos, pero a niveles traza en el medio. Sin embargo, este equilibrio ha sido afectado por la actividad humana, incrementado considerablemente el aporte al medio natural bajo diferentes vías, entre las que destacan como mayoritarias las operaciones mineras y de fundición

Los vertidos de aguas residuales urbanas, los vertidos industriales, los desechos de la manipulación de metales y el uso de fertilizantes y pesticidas.

**Tabla 18.**

Composición elemental del mineral zeolita.

Grupo C4 (Grupo de la filipsita)			Grupo C8-T1 (Grupo de la mordenita)			Grupo C6-C6 (Grupo de la faujasita)		
Zeolita	TO <sub>4</sub>	Si/Al	Zeolita	TO <sub>4</sub>	Si/Al	Zeolita	TO <sub>4</sub>	Si/Al
Li – ABW.	8	1 - 3	Bikitaíta	9	4 - 7	Linde	24	1 - 3
Filipsita.	16		Dischiardita	24		Rho	46	
Harmotoma.	16		Epistilbita	24		ZK5	96	
Gismondita.	16		Ferrierita	36		Faujasita	192	
Na – P.	16		Mordenita	48		Paulingita	672	
Amicita.	16		ZSM - 5	96		Linde N	768	
Garronita.	16		ZSM-11	96				
Yugawaralita.	16							
Merlionita.	32							
GRUPO C4 - C4 (Grupo de la analcima)			GRUPO C6 (Grupo de la chabazita)			Grupo C4-C4 (Grupo de la heulandita)		
Analcima	48	1 - 3	Sodalita	12	2,5 - 4,0	Brewsterita	16	2,2 - 5,0
Leucita	48		Cancrinita	12		Heulandita	36	
Wairakita	48		Ofrerita	18		Estilbita	72	
A	48		Losod	24		Stellerita	72	
Grupo C4-T1 (Grupo de la natrolita)			Gmelinita	24		Barretita	72	
Edingtonita	10	1 - 2	Liotita	36	GRUPO C8 (Grupo de la laumontita)			
Gonnardita	20		Chabazita	36	Laumontita	24	1 - 2	
Thomsonita	40		Mazzita	36				
Natrolita	40		Erionita	36				
Scolecita	40		Aghanita	48				
Mesolita	120		Levynita	54				

**Fuente:** El investigador realizó los estudios de investigación, 2022.

La tendencia a la microporosidad y las características estructurales de estos materiales, permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio circundante; esta transferencia está condicionada por el diámetro de los poros, por lo que

sólo podrán ingresar o salir del espacio intracrystalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual varía de una zeolita a otra (Demuth, Th. et al. 2000).

Las zeolitas pueden clasificarse en:

- Zeolita de poro extragrande ( $\theta > 9$ ).
- Zeolita de poro grande ( $6 < \theta < 9$ ).
- Zeolita de poro mediano ( $5 < \theta < 6$ ).
- Zeolita de poro pequeño ( $3 < \theta < 5$ )

El hecho de presentar diversos diámetros moleculares le proporciona a las zeolitas una propiedad muy particular, de gran uso industrial, conocida como selectividad geométrica o de forma.

Los tetraedros  $[AlO_4]^-$  inducen cargas negativas en la estructura, las cuales se neutralizan por cationes de composición intercambiables. Estos cationes, junto con las moléculas de agua, se encuentran ocupando el espacio intracrystalino de estos aluminosilicatos.

Entre las características generales de las zeolitas están las siguientes:

- Diámetro de poro: 2 a 12 angstroms.
- Diámetro de cavidades: 6 a 12 angstroms.
- Superficie interna: varios cientos de  $m^2/g$ .
- Capacidad de intercambio catiónico: 0 a 650 meq/100g.
- Capacidad de adsorción:  $< 0,35 \text{ cm}^3/g$ .
- Estabilidad térmica: desde  $200^\circ$  hasta más de  $1.000^\circ C$ .

El intercambio de iones en las zeolitas depende de varios factores, entre los cuales se pueden destacar:

- La naturaleza de las especies catiónicas, principalmente de su carga.
- La temperatura.
- La concentración de las especies catiónicas en solución.

- El tamaño del ión y su carga.
- Las especies aniónicas asociadas al catión en solución.
- El solvente (la mayor parte de los intercambios se efectúan en solución acuosa, aunque también algo se hace con solventes orgánicos).
- Las características estructurales de la zeolita en particular.
- La selectividad de la zeolita por determinados iones, se basa en los calores de hidratación de los cationes involucrados en el proceso de intercambio iónico. La chabasita, la clinoptilolita y la mordenita, que tienen una alta relación Si/Al, pueden intercambiar sus cationes, selectivamente, por cationes grandes como el Cs<sup>+</sup>, el Rb<sup>+</sup>, el K<sup>+</sup>, el NH<sup>4+</sup>, el Na<sup>+</sup>, el Ba<sup>2+</sup> o el Sr<sup>2+</sup>. Este fenómeno se debe a los calores de hidratación de los cationes; es decir: Ha (Cs<sup>+</sup>) = -280 kJ/mol; Ha (Rb<sup>+</sup>) = -312 kJ/mol; Ha (NH<sup>4+</sup>) = -326 kJ/mol; Ha (K<sup>+</sup>) = -339 kJ/mol; Ha (Na<sup>+</sup>) = -423 kJ/mol; Ha (Ba<sup>2+</sup>) = -1339 kJ/mol y Ha (Sr<sup>2+</sup>) = -1477 kJ/mol.

Fuente: (Pavelić, K. y Hadžija, M, 2003).

### Tabla 19

Resultados de pH realizado a la muestra de porción de la zeolita.

MUESTRA	ENSAYO DE Ph
MINERAL ZEOLITA	

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

**Muestra Patrón (Muestra sin mineral zeolita):**

Metal Pesado (Cobre):

**Tabla 20**

Resultados de presencia de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.

METALES TOTALES (mg/L)	L.C. (mg/L)	MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY - CAJAMARCA
Cobre (Cu)	0,005	2.01

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

Parámetros Físico – Químicos:

**Tabla 21**

Resultados de parámetros físico - químicos de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.

ENSAYOS	MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY – CAJAMARCA
Sólidos susp. T. (mg/L)	556
Turbidez (UNT)	6.89
Conductividad (us/cm)	1230
Ph	7.42

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

**Muestra Experimental N°01 (Tratada con 10 gr/L de mineral zeolita):**

Metal Pesado Cobre (Cu):

**Tabla 22**

Resultados de presencia de cobre en aguas del Rio Puruay - Cajamarca

<b>METALES TOTALES (mg/L)</b>	<b>L.C. (mg/L)</b>	<b>MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY - CAJAMARCA</b>
Cobre (Cu)	0,005	

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

Parámetros Físico – Químicos:

**Tabla 23**

Resultados de parámetros físico - químicos de cobre del Rio Puruay – Cajamarca.

<b>ENSAYOS</b>	<b>MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY – CAJAMARCA</b>
Sólidos susp. T. (mg/L) Turbidez (UNT) Conductividad (us/cm) Ph	

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

**Muestra Experimental N°02 (Tratada con 20 gr/L de mineral zeolita):**

Metal Pesado Cobre (Cu):

**Tabla 24**

Resultados de parámetros físico - químicos de cobre del Rio Puruay – Cajamarca.

<b>METALES TOTALES (mg/L)</b>	<b>L.C. (mg/L)</b>	<b>MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY - CAJAMARCA</b>
Cobre (Cu)	0,005	

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

Parámetros Físico – Químicos:

**Tabla 25**

Resultados de parámetros físico - químicos de cobre en aguas del Rio Puruay – Cajamarca.

<b>ENSAYOS</b>	<b>MUESTRA PATRON DE AGUAS DEL RIO PURUAY – CAJAMARCA</b>
Sólidos susp. T. (mg/L) Turbidez (UNT) Conductividad (us/cm) Ph	

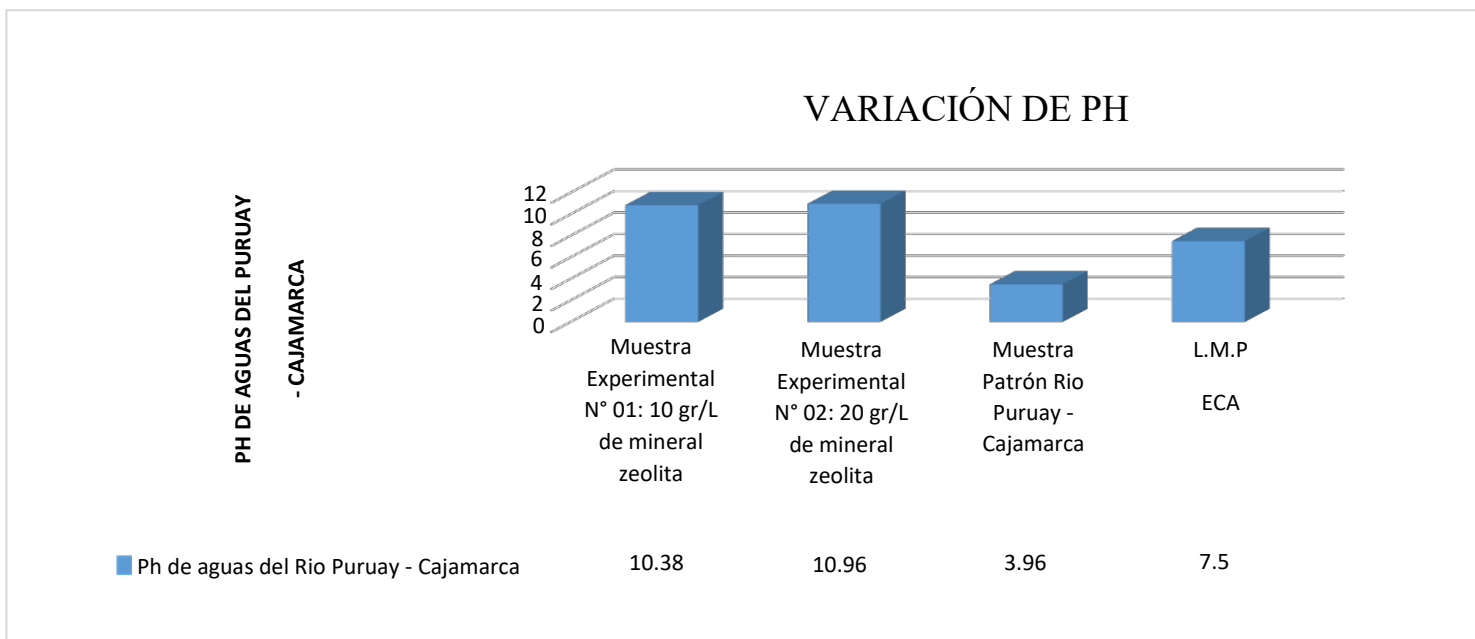
**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.

**Tabla 26**

Variación de parámetros físico - químicos de las aguas del Rio Puruay posterior al uso del mineral zeolita.

<b>ENSAYOS</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
	<b>MUESTRA PATRON</b> (agua del Rio Puruay – Cajamarca, punto RSant2, añadiendo 10 gr/L mineral zeolita)	<b>MUESTRA EXPERIMENTAL N° 01</b> (Agua del Rio Puruay – Cajamarca, punto Rsant2 añadiendo 20 gr/L de mineral zeolita)	<b>MUESTRA EXPERIMENTAL N° 02</b> (Agua del Rio Puruay – Cajamarca, punto Rsant2 sin añadir el mineral zeolita)
Ph. Variación de Ph. Conductividad (uS/cm). Variación de conductividad. Sólidos totales (mg/L). Variación de sólidos totales. Turbidez (UNT). Variación de Turbidez.			

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022.



**Figura 12.** Gráfico de barras representando la cantidad de pH obtenida por las muestras y el L.M.P según ECA.

**Fuente:** Propia elaborado por el investigador, 2022.

**Tabla 27**

Cuadro comparativo, entre muestras experimentales, muestra patrón y estándares de calidad.

<b>ENSAYOS</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
	MUESTRA EXPERIMENTAL N° 01  (Agua del Rio Puruay – Cajamarca, punto RSant2, añadiendo 10 gr/L mineral zeolita)	MUESTRA EXPERIMENTAL N° 02  (Agua del Rio Puruay – Cajamarca, punto Rsant2 añadiendo 20 gr/L de mineral zeolita)	MUESTRA PATRÓN	ESTANDARES DE CALIDAD ECA
Cobre (Cu).				
Ph.				
Conductividad (uS/cm).				
Sólidos totales (mg/L).				
Turbidez (UNT).				

--	--	--	--	--

**Fuente:** Propia, se realizó los estudios en el laboratorio de E.P.S SEDACAJ S.A. 2022 y estándares de calidad 2017.

### **Diseño Hidráulico de Biofiltro:**

El diseño hidráulico se basó en la demanda de agua que requiere la población de Cajamarca y se trabajó con el método analítico.

- Se propuso el diseño de un filtro lento conformado por capas de grava, gravilla y zeolita.
- Se lavó la grava, gravilla y zeolita con la finalidad de que no vaya demasiada impureza al momento de construir los filtros.
- El filtro tiene un diámetro de 50 cm y de altura 80 cm.
- La primera capa de grava que funciona como soporte del resto de capas es de 20 cm.
- La segunda capa de gravilla mide 10 cm de espesor y por último tenemos la capa de zeolita de 30 cm de espesor.
- La siguiente fase es poner a prueba el filtro para poder determinar la eficiencia de la zeolita con los diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la calidad del agua.

- Se procedió a tomar muestras de agua en el efluente del filtro para saber los valores de cada parámetro que contiene la misma.
- Para el diseño hidráulico del biofiltro se consideró el caudal máximo, como caudal de diseño obteniendo así un caudal del 7.18 l/s, caudal que necesita la población para que se abastezca de agua.
- Siguiendo los parámetros de diseño halle el área superficial, obteniendo así una dimensión de 4.38 m de diámetro.
- Dicha medida se tomaría como medida adoptiva del biofiltro dinámico, para comprobar la velocidad de superficial de lavado que dio un resultado de 0.16 m/s que es aceptable porque se encuentra entre 0.15 – 0.30 m/s que se encuentra dentro de la norma.

### Lista de Materiales:

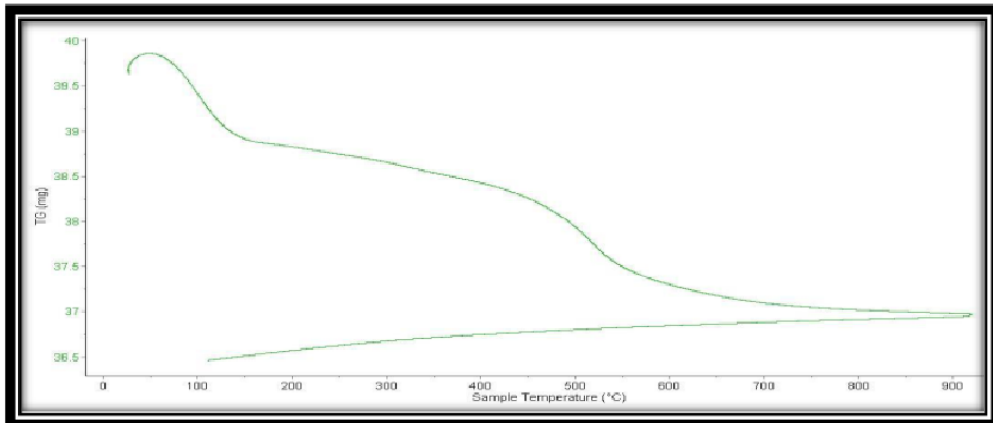
Lista de materiales y plomería	Cantidad total
Abrazadera PVC Ø 2" a ½"	4
Tapón macho PVC C/R Ø ½" CL-10	4
Adaptador PVC Ø 2" CL-10	4
Unión PVC S/P Ø 2" CL-10 C/R	4
Codos PVC S/P Ø 2" CL-10	4
Cinta teflón ½"	5
Kit de rebose para tanque	4
TEE PVC S/P Ø 2" CL-10	2
Tubo PVC SAP Ø 2" x 5 mts CL – 10	1



### III. RESULTADOS

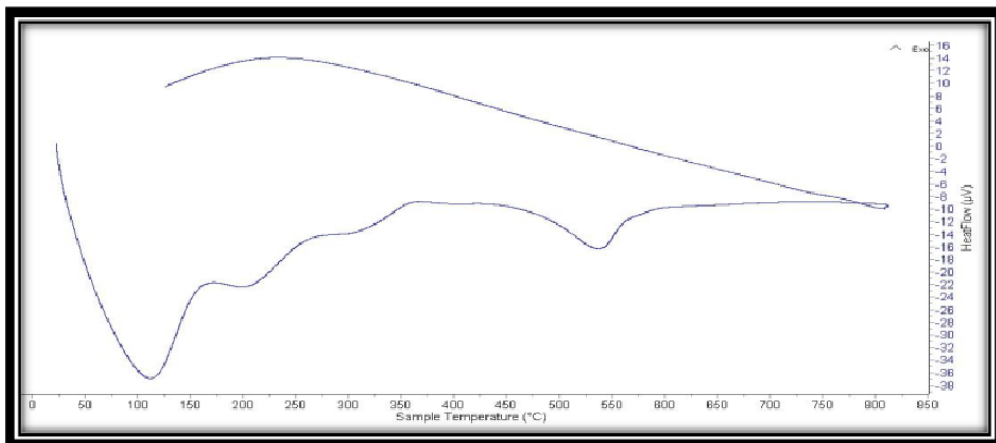
#### RESULTADOS DEL ENSAYO DE ANÁLISIS TÉRMICO REFERENCIAL (ATD)- DE LA ZEOLITA

Según el análisis termogravimétrico se observaron dos pérdidas de masa significativas, la primera entre 80 y 140 °C y la segunda entre 460 y 520 °C, luego de lo cual la pérdida de masa se fue haciendo lenta hasta alcanzar los 920 °C, perdiendo alrededor del 13% de su masa. masa inicial.



*Figura 11.* Pérdida de masa de la ZEOLITA

Según el análisis calorimétrico, la curva muestra un (1) pico endotérmico a ca. 130°C, luego 220°C, seguido de un pequeño pico a ca. 560°C. Todas estas temperaturas permiten detectar cambios estructurales y cambios en las propiedades de los materiales..



*Figura 12.* Curva de intersección de la zeolita

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS -X (FRx)  
DE LA CENIZA DE ZEOLITA.**

**Tabla 19**

*Composición Química de la Zeolita*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>RESULTADO (%)</b>	<b>METODO UTILIZADO</b>
Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	43.838 %	ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DISPERSIVA (EDS)
Óxido de Aluminio (AlO <sub>3</sub> )	37.969 %	
Óxido de Hierro (FeO)	10.184 %	
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	5.110 %	
Óxido de Calcio (CaO)	1.271 %	
Óxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	0.946 %	
Óxido de fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.392 %	
Óxido de Magnesio (MnO)	0.110 %	
Óxido de zirconio (ZrO <sub>2</sub> )	0.078 %	
Óxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	0.062 %	
Óxido de estroncio (SrO)	0.016 %	
Óxido de rubidio (RbO <sub>2</sub> )	0.014 %	
Óxido de itrio (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.009 %	

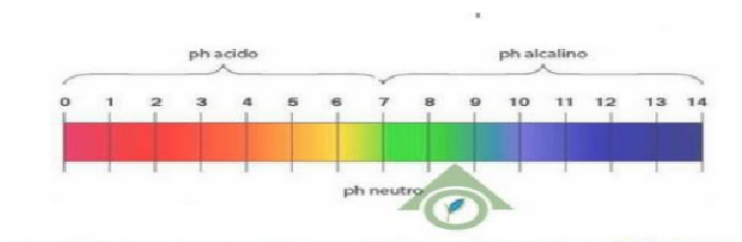
**RESULTADOS DEL ENSAYO VALOR DE LA ALCALINIDAD DE LA  
COMBINACIÓN DE LA ARCILLA Y CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ.**

Determine los cambios de pH de las muestras estándar y experimentales durante el proceso de eliminación utilizando un biofiltro.

**Tabla 20**

Variación de pH del agua durante el proceso de remoción usando el biofiltro

<b>MUESTRA</b>	<b>pH</b>
Rio Puruay (Patrón)	3.752
Rio Puruay (Prueba Final) Remoción de Arsénico con Esferas de zeolita	8.24



#### IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN

Según Torres, S. (2020). Según su investigación logró remover Cobre (Cu) en un porcentaje de 80.05% y 70.22% utilizando las dosis de 6 y 12 gr/L respectivamente; en la presente investigación se puede observar que con la dosis de 10 gr/L se obtuvo una remoción del 95.43% y con la dosis de 20 gr/L se obtuvo una remoción del 88.48%, evidenciando que en el antecedente se dejó reposar por una semana a temperatura ambiente el mineral zeolita y en la presente investigación se dejó reposar por 2 semanas a temperatura ambiente tendidos en el suelo de un cuarto.

Pinedo, B. (2019). Mediante su investigación se tuvo en cuenta los factores que intervinieron como fueron el tiempo de contacto, velocidad de contacto, concentración de adsorbente, tiempo de reposo y temperatura de activación del mineral zeolita, lo cual en la presente investigación se tuvieron en cuenta los mismos factores variando la medida y también se analizaron algunos análisis físico – químico.

Según Pinedo, B. (2019). Según su investigación nos indica que el contacto del polvo del mineral zeolita fue a 200 rpm por 60 minutos y un reposo de 15 minutos, en la presente investigación se realizó a la misma revolución pero por un tiempo de contacto de 120 minutos y tiempo de reposo de 30 minutos, ya que en el antecedente se mostraba el agua oscura, se optó por darle más tiempo de reposo para que asiente los sedimentos.

Gil L. (2018). Realizó el diseño de un biofiltro sin el uso de capas de arena o grava, empleando velocidades de contacto de entre 50 rpm y 100 rpm; en esta investigación se realizó el diseño hidráulico de un biofiltro estándar, empleando 200 rpm como velocidad de contacto entre la muestra y las aguas a tratar, siendo esto pieza importante para la remoción del cobre (Cu) al encontrarse a una mayor velocidad de contacto.

- pH, fuerza iónica, temperatura.
- Concentración de iones inorgánicos con los cuales el Cobre puede formar complejos inorgánicos y las constantes de estabilidad de estos complejos.
- Formación de complejos orgánicos de Cobre (con ácidos húmicos)
- Solubilidad del material pasivado (malaquita, cuprita) Otros se relacionan con el diseño mismo de la instalación como son: material del sistema de distribución intradomiciliario, longitud de la cañería, tiempo de residencia del agua previo al consumo y antigüedad de la instalación.

Los subproductos liberados por corrosión del Cobre pueden clasificarse de acuerdo a si el metal liberado está, predominantemente soluble o particulado. Los problemas asociados con Cobre soluble se producen más a pH 7,5 o menor, se desarrollan en un período corto y pueden remediarse elevando el pH. Por el contrario, cuando se trata de liberación de Cobre particulado, este problema se desarrolla en tiempos más prolongados y se pueden llegar a alcanzar altas concentraciones de Cu en el agua, no se corrige con ajustes de pH, es necesario filtración.

En muchos de estos casos se reporta alto contenido de carbón orgánico asimilable, sulfuros, bacterias sulfo - reductoras, tiempos prolongados de almacenamiento, baja concentración de cloro y presencia de un biofiltro. La literatura también señala que en estos casos el pH tiende a ser alto, mientras que bicarbonatos y conductividad específica son bajos, características que corresponden a aguas con una capacidad amortiguadora extremadamente pobre por lo que tienen poca resistencia a cambios de pH resultantes de reacciones químicas o biológicas (Edwards et al, 1994; Edwards et al, 1995; Edwards et al, 1999).

Tratar de compatibilizar la necesidad de abastecer de agua a la población y el hecho que el abastecedor no es responsable de los materiales que se usan en los hogares, hace en algunos casos, difícil el cumplimiento de las recomendaciones internacionales o las normativas nacionales sobre máximos de Cobre en aguas de consumo.

**Conductividad (uS/cm):** La muestra patrón muestra un nivel de 426uS/cm de conductividad presentes en las aguas del río Puruay - Cajamarca, mientras que la muestra experimental N°01 en la que se empleó 10gr/L de polvo de mineral zeolita

obtuvo un aumento a 1198 uS/cm superando a la conductividad que poseía la muestra patrón; y la muestra experimental N°02 en la que se empleó 20gr/L de mineral zeolita bajó a 2500 uS/cm con lo que redujo mayor conductividad con respecto a la muestra patrón y la muestra experimental N°02. Cabe resaltar que los niveles de conductividad obtenidos en la muestra experimental N° 01 son aceptables ya que no superan el límite máximo permisible de 1500 uS/cm de conductividad que nos indica ECA, pero la muestra experimental N° 02 no es aceptable porque sobrepasa el LMP establecidos por el ECA.

**Sólidos Totales (mg/L):** La muestra patrón muestra un nivel de 264 mg/L de sólidos totales presentes en las aguas del río Puruay - Cajamarca, mientras que la muestra experimental N°01 en la que se empleó 10gr/L de polvo de cáscara de naranja tuvo un descenso a 111 mg/L de sólidos totales y la muestra experimental N°02 en la que se empleó 20gr/L de mineral zeolita se aumentó a 340 mg/L con lo que es superior en sólidos totales a la muestra patrón y la muestra experimental N°01. Cabe resaltar que los niveles de sólidos totales obtenidos en la muestra patrón y la muestra experimental N°01 y 02 son aceptables ya que no superan el límite máximo permisible de 1000 mg/L de sólidos totales que nos indica ECA.

**Turbidez (NTU):** La muestra patrón muestra un nivel de 318 NTU de turbidez presentes en las aguas del río Puruay - Cajamarca, mientras que la muestra experimental N°02 en la que se empleó 10gr/L de mineral zeolita disminuyó a 116 NTU su turbidez; y la muestra experimental N°02 en la que se empleó 20gr/L de polvo de mineral zeolita bajó considerablemente su turbidez a 70 NTU. Cabe resaltar que los niveles de turbidez obtenidos en la muestra experimental N°01 y 02 no son aceptables por sobrepasar el LMP del 5 NTU según ECA.

**Cobre (mg/L):** Los resultados en cuanto a la remoción de cobre fueron considerables teniendo en cuenta la gran cantidad de este metal en la muestra patrón la cuál fue de 4,807 mg/L; como resultado del uso de 10gr/L del mineral zeolita, redujo el cobre presente en la muestra patrón hasta alcanzar la cantidad de 0.072 mg/L obteniéndose así un 98.51% de remoción y por su parte con el uso de

20 gr/L del mineral zeolita se obtuvo una menor reducción de cobre (Cu), obteniendo 0,453 gr/L que viene a ser el 90.58% de remoción como resultado, no siendo aptos según los estándares de calidad, pero su uso destinado a bebidas de animales y regadío de vegetales según los estándares de calidad – MINAM 2017, donde se verifica según la figura 45.

Con los resultados obtenidos pudo realizar la curva de variación de cobre (Cu) en porcentajes, indicando y demostrando así cuál de las muestras logró mayor capacidad de remoción de cobre (Cu) en las aguas del río Puruay – Cajamarca.

## V. CONCLUSIONES

La localización de la zona se realizó sin problemas, donde se pudo obtener las muestras en épocas de estiaje, donde el caudal del río nos permitió acceder a retirar las muestras sin ningún inconveniente, donde se visualizó la caracterización de la zona, en las rocas y sedimentos amarillentos a causa de la contaminación de la minera Yanacocha que se practica en el cerro Quilish – Cajamarca.

La composición química del mineral zeolita obtuvo picos de elementos como calcio, potasio, silicio, azufre, entre otros; la cual se obtuvo mediante el ensayo de FRX.

Se realizó el ensayo de pH a la muestra del mineral zeolita con lo que se obtuvo un valor de 10.85, concluyendo que dicha muestra es altamente alcalino ya que supera el rango de 6,5-8,5 pH.

En el resultado del barrido de metales se comprobó el exceso de cobre (Cu) con 3.893 mg/L, entre otros metales.

El biofiltro se construyó con 3 baldes de 4L para aprovechar la figura circular que estos poseen, así mismo generar que la gran mayoría de la muestra no se mantenga en asentamiento y entre en contacto con el agua a tratar con una velocidad de 200 rpm durante 120 minutos, induciendo así un mayor aprovechamiento hidráulico para la sustracción del cobre (Cu).

La muestra patrón nos confirmó la presencia de cobre (Cu) en cantidad de 4.807mg/L y los parámetros físicos-químicos de la muestra de agua; los cuales sufrieron variaciones al aplicar ciertas cantidades de las muestras para la remediación de las aguas. El diseño de 10 gr/L del mineral zeolita redujo la cantidad de cobre (Cu) a 0.072 mg/L removiendo así el 98.51% del metal pesado, mientras que el diseño de 20 gr/L redujo el cobre (Cu) a 0.453 mg/L removiendo así el 90.85% del metal pesado obteniendo una inferior efectividad en cuanto a remoción; cabe destacar que aun habiendo removido considerables cantidades de cobre (Cu) no se logró obtener que el agua pueda ser apta para el consumo humano ya que no alcanzó los límites máximos permisibles de 0.01 mg/L de cobre (Cu) indicados por ECA.

El uso según los estándares de calidad del 2017 - MINAM del agua tratada en la muestra experimental 01 sería para bebidas de animales y regadío de vegetales ya que es inferior a 0.1 gr/l de Cobre (Cu) según indica los estándares.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar el monitoreo del río Puruay – Cajamarca durante las épocas de estiaje, sequía y lluvia, esto debido a que las cantidades de cobre (Cu) y demás metales pesados en el agua no suelen ser constantes y varían según las estaciones del año.

Realizar nuevas dosificaciones entre el rango de 15 a 19 gr/L del mineral zeolita para obtener una mejor verificación de la disminución de cobre (Cu).

Realizar un estudio que impliquen todos los metales pesados, ya que se observa en los antecedentes, que no solo el mineral zeolita removería cobre (Cu) a una gran escala sino también otros metales dañinos para la salud.

Añadir algún tipo de filtrante o optar por un mayor tiempo de reposo para obtener una mejoría en sus propiedades físico-químicos del agua tratada para el consumo humano.

Realizar un mayor número de barrido de metales en distintos puntos dentro de la zona de estudio para poder tener un menor margen de error en el resultado de dicho ensayo y así poder obtener un mejor promedio de la presencia de metales pesados en la zona del Río Puruay - Cajamarca.

Variar los tiempos y la velocidad de contacto entre el agua del río y las dosis del mineral zeolita en el biofiltro para obtener una variedad de resultados que nos facilite llegar a una conclusión y mejora, en cuanto al tiempo y revoluciones ideales para una buena remoción de cobre (Cu), ya que el tiempo en el biofiltro es un factor importante en la bioadsorción de los metales pesados.

## **VII. AGRADECIMIENTOS**

A DIOS

Por darme la dicha de vivir, por  
iluminarme siempre en los  
momentos difíciles y ser  
mi compañero inseparable  
en este largo camino.

A MIS PADRES:

Por el apoyo incondicional  
en cada etapa de mi vida.

A MI ASESOR Y PROFESORES:

De la Carrera Profesional de  
Ingeniería Civil, por ser  
fuente de conocimientos y por las  
sabias enseñanzas que supieron  
impartirme.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arraigada García y R. Cid (2001). Retención de Mercurio y Cobre con Zeolitas Naturales y Sintéticas, Informe Interno de la Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Concepción - Chile.
- Amethyst Galleries. (2000). Clasificación de las zeolitas. <http://mineralgalleries.com/minerals/silicate/zeolites.htm>
- Anónimo. (2001). Mejora de la capacidad fertilizante del estiércol tratándolo con zeolita”. <http://www.ars.usda.gov/is/2001/011003.htm>
- Bosch Pedro y Schifter Isaac. (2022). Qué es una zeolita en el laboratorio de análisis. <http://www.omega.ILCE.edu.mx:3000/sities/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/SEC3.html>
- Campos E. (2005). Planta zeolítica para abastecimiento de agua en zonas de desastre. Universidad Autónoma de Puebla.
- Decreto Supremo N°010-2010-MINAM. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. 21 de agosto de 2010.
- Días Chavalina. L. y Ramírez M. (1991). Estudio de intercambio de equilibrio de metales pesados en zeolitas naturales cubanas, Memorias 3era Conferencia Internacional Zeolitas Naturales (Parte II), Cuba.
- García. M. J. (2002). Materiales zeolítico: síntesis, propiedades y aplicaciones, Informe Interno, Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Alicante, España.
- Haro (2015). El uso de la zeolita natural en el proceso de filtración rápida, en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito y provincia de San Miguel. [Tesis de Título, Universidad de Cajamarca].

- Morante C. F. (2022). Proyecto geominero de zeolitas naturales en el campus politécnico Gustavo Galindo. [Tesis de Título, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral]
- National Academy Of Sciences Colloquium. (1998). Geology, Mineralogy, and Human Welfare. <http://www.pnas.org/cgi/content/full/96/7/3463>
- Quilambaqui M, Ayala C. y Morante C. (2002). Usos de las zeolitas naturales”. VLIR-ESPOL.
- Pérez. (2017). Análisis de zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos “Ayuda al Campesino” de la Parroquia La Matriz - Cantón Quero - provincia de Tungurahua – Ecuador. [Tesis de Título].
- Romero C. (2000). Informe final del proyecto “Sustratos ecológicos a base de zeolitas naturales.
- Vela y Tuesta. (2016), Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juningullo la Mina a escala piloto Moyobamba – 2016. [Tesis de Título]

## IX. ANEXOS

### ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO



Rio Puruay



Extracción de muestra del Rio Puruay



Recolección de muestras en río Puruay



Recolección de muestras de agua, para ensayos de experimentación



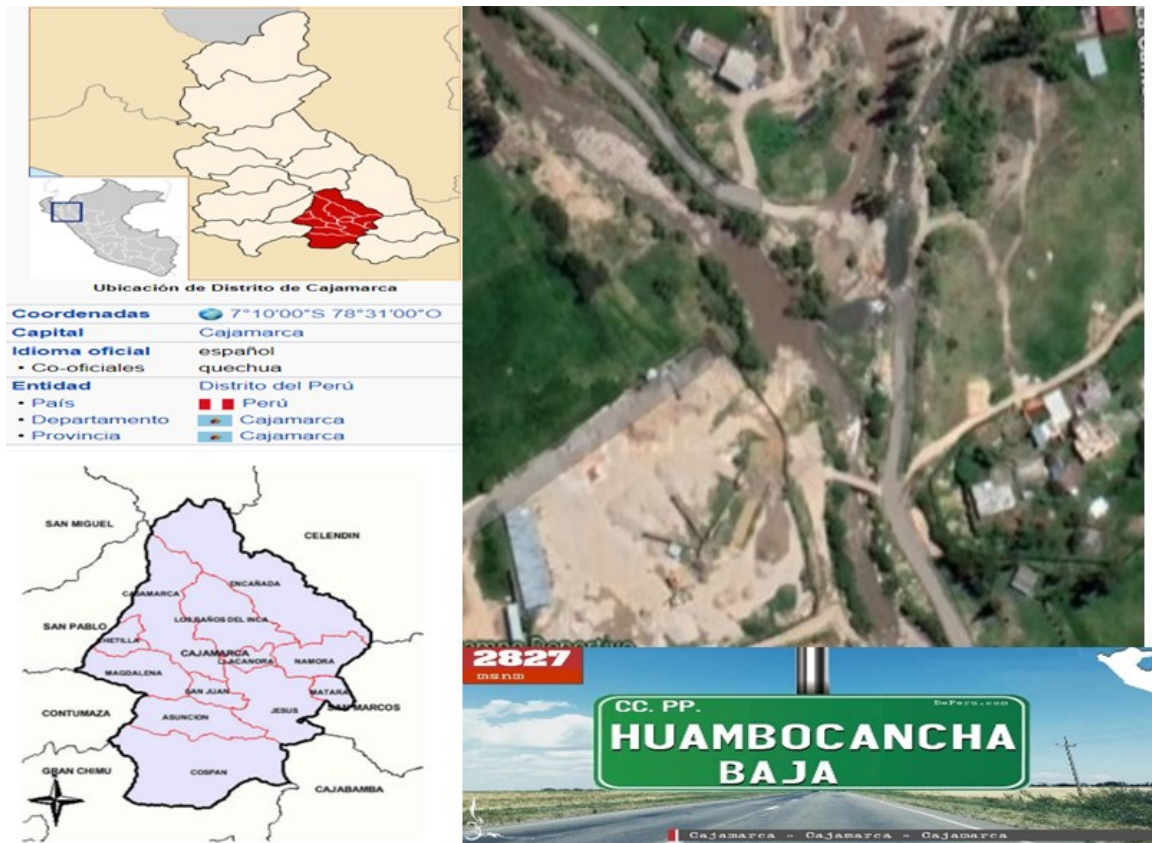
Traslado de muestras de agua para experimentación



Presencia de la minería legal, la cual a través de sus relaves generan contaminación de las aguas del Rio Puruay en la provincia de Cajamarca

## ANEXO 2

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ZONA DE ESTUDIO



Ubicación geográfica de zona de estudio donde se tomaron las muestras de las aguas del Rio Puruay

### **ANEXO 3**

#### **BARRIDO DE METALES DE LAS AGUAS DEL RIO PURUAY – HUAMBOCANCHA BAJA / SEDACAJ CAJAMARCA**

La manera de tomar la muestra puede ser de dos formas:
A= Automático ( Equipos automuestreadores )
Ma= Manual ( Realizado por una persona )

Tipo de muestra
S= Simple ( Una toma en un punto )
C= Compuesta ( Varias tomas en el mismo punto )
I= Integrada ( Varias tomas en distintos puntos )

Tipo Recipiente en el que se tomara la muestra
V= Vidrio: 250, 500 y 1000mL
P= Plástico: 500/1000mL
B= Bolsa

Tipo Preservante necesario para conservar la muestra según su ensayo	
1= HNO <sub>3</sub> ( Para llevar hasta: pH ≤ 2 )	6= Acetato de Zn (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Zn) precipitación
2= H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ( Para llevar hasta: pH ≤ 2 )	7= Buffer tampon: NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> OH
3= NaOH ( Para llevar hasta: pH ≥ 12 )	
4= Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( Para remover el cloro )	
5= EDTA ( Agente quelante )	
8= Conservar 0-6°C	

MATRIZ DE AGUA
AN: AGUAS NATURALES
S= Superficial
Sb= Subterránea
AR: AGUA RESIDUAL
D= Doméstica
I= Industrial
M= Municipal
AUCH: USO Y CONSUMO HUMANO
B= Bebida
P= Piscina

Prámetros	Parámetros que pueden ir juntos	Volumen mínimo	Preservante o conservante
Turbidez	A	500mL	T°C ≤ 6
Aniones	A		
pH	A	500mL	T°C ≤ 6
Conductividad	A		
Acidez	A		
Alcalinidad	A		
Metales Totales (preservar)	B	500mL	25 gotas de HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> prop 1:1
Dureza	B		
Mercurio	B		
Metales Disueltos (Filtrar y preservar)	C	500mL	5ml NaOH 1M
Cianuro Total , Cianuro Wad y Cianuro Libre	D		
DBO <sub>5</sub>	E	1000mL	T°C ≤ 6
DQO	F	500mL	20 gotas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> prop 1:1
N-amoniaco o Amoniaco	F		
Sólidos disueltos, Suspendedos, Totales	G	1000mL	T°C ≤ 6
Sólidos Sedimentable	G	1000mL	T°C ≤ 6
Oxígeno disuelto	H	300mL	R1= MnSO <sub>4</sub> R2= IK-amido Na
Sulfuros	I	500mL	20 gotas C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Zn + 10gotas NaOH 6N
Cromo hexavalente	J	500mL	5ml Buffer + 3ml NaOH 5N
Aceites y Grasas	K	1000mL	40 gotas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> prop 1:1
Coliformes Totales	L	500mL	T°C ≤ 6
Coliformes Termotolerantes	L	500mL	T°C ≤ 6
Bacterias Heterótrofas	L	500mL	T°C ≤ 6
Escherichia coli	L	500mL	T°C ≤ 6

## RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS

### Toma de Muestras para Análisis Microbiológicos

- Utilizar guantes descartables antes de recolectar la muestra.
- Conserve la botella de muestreo cerrada hasta el momento del muestreo.
- Retire la envoltura de aluminio o papel kraf, evitando contaminar la tapa y el cuello de la botella.
- Cuando la muestra es colectada dejar un espacio de al menos 2,5 cm para facilitar la mezcla por agitación antes del análisis.
- Llene el recipiente sin enjuagar y tape inmediatamente el recipiente y coloque nuevamente la envoltura asegurándolo alrededor del cuello de la botella.

### Toma de Muestras para Análisis Químicos

- Colocarse los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestra y desechar luego de culminado el muestreo en cada punto.
- En todo momento evitar tomar la muestra cogiendo el frasco por la boca.
- Enjuagar los frascos con el agua a ser recolectada de dos a tres veces con la finalidad de eliminar posibles sustancias existentes en su interior.
- Después de preservar las muestras y tapar, homogenizar el contenido.
- Para el caso de muestras para análisis de metales disueltos, primero filtrar con membrana de 0.45um diametro y luego preservar.
- Para el caso de la toma de muestras de sulfuros, primer enjuagar el recipiente y luego agregar los preservantes antes de tomar la muestra con la menor aireación posible y llenarla al tope.
- Conservar las muestras a temperatura ≤ 6°C.

### Considerar la cantidad de preservante para AGUAS RESIDUALES tal como se describe:

- 3mL (60 gotas) HNO<sub>3</sub> 1:1, para los ensayos de metales totales y disueltos.
- 2.5mL (50 gotas) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1, para ensayos de Dureza, DQO y N- NH<sub>3</sub> o NH<sub>4</sub>
- 7.5 mL (150 gotas) NaOH 1M para ensayos de Cianuro libre, wad y libre.
- 5mL (100 gotas) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1, para ensayos de Aceites y grasas.



## **ANEXO 4**

Recolección de datos

## FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

Nombre del encuestado: Walter Lopez Dominguez  
Ocupación: Soldador Edad: 37  
Lugar: Tarica Fecha: 22/05/17



*Walter Lopez Dominguez*  
Walter López Dominguez  
TENIENTE GOBERNADOR  
DNI N° 80430914

- Ubicación de la vivienda:  
Ladera \_\_\_\_\_ Ribera del río X
- Material de construcción:  
Adobe X Tapial \_\_\_\_\_ Material Noble \_\_\_\_\_
- ¿Cuándo ocurrieron las lluvias qué fue lo que más afecto en su domicilio?  
Techos, Fisuras, daños de pared.
- ¿Con qué frecuencia se han producidos daños por inundaciones y deslizamientos?  
• Varias veces al año X  
• Cada año \_\_\_\_\_  
• Cuando ocurren huaycos \_\_\_\_\_
- ¿usted ha recibido capacitaciones en prevención de desastres?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Con qué frecuencia se aplica mantenimiento a los ríos?  
• Varias veces al año \_\_\_\_\_  
• Cada año \_\_\_\_\_  
• Cuando ocurren huaycos \_\_\_\_\_  
• Nunca X
- ¿Te sientes preparado para afrontar una posible inundación? ¿Cómo actuarías?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Has participado alguna vez de un simulacro? ¿Dónde?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Consideras importante estar enterado del tema?  
SI X NO \_\_\_\_\_
- Si no estuvieras informado sobre el tema. ¿A dónde o a quien acudirías para informarte?  
A las autoridades
- ¿a que entidad pediría apoyo ante una posible inundación?  
Defensa Civil
- ¿Crees que se le da la debida importancia a los temas de prevención?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Cuentas con una mochila de seguridad preparada para cualquier eventualidad o emergencia?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Existe en la Localidad un plan de evacuación preventivo contra los desastres naturales?  
SI \_\_\_\_\_ NO X

## FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

Nombre del encuestado: Miguel Edwing Reyes Castillo  
Ocupación: Director Edad: 42  
Lugar: Tarica Fecha: 22/08/17



MINISTERIO DE EDUCACIÓN

Miguel E. Reyes Castillo  
CNI: 32221102  
DIRECTOR

- Ubicación de la vivienda:  
Ladera \_\_\_\_\_ Ribera del río X
- Material de construcción:  
Adobe X Tapial \_\_\_\_\_ Material Noble \_\_\_\_\_
- ¿Cuándo ocurrieron las lluvias que fue lo que más afectó en su domicilio?  
Cerca perimétrica
- ¿Con qué frecuencia se han producidos daños por inundaciones y deslizamientos?  
• Varias veces al año \_\_\_\_\_  
• Cada año \_\_\_\_\_  
• Cuando ocurren huaycos X
- ¿Usted ha recibido capacitaciones en prevención de desastres?  
SI X NO \_\_\_\_\_
- ¿Con qué frecuencia se aplica mantenimiento a los ríos?  
• Varias veces al año \_\_\_\_\_  
• Cada año \_\_\_\_\_  
• Cuando ocurren huaycos \_\_\_\_\_  
• Nunca X
- ¿Te sientes preparado para afrontar una posible inundación? ¿Cómo actuarías?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Has participado alguna vez de un simulacro? ¿Dónde?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Consideras importante estar enterado del tema?  
SI X NO \_\_\_\_\_
- Si no estuvieras informado sobre el tema. ¿A dónde o a quien acudirías para informarte?  
PREVAED
- ¿A que entidad pediría apoyo ante una posible inundación?  
Estado - Gobierno Regional, Provincial, Distrital y ONG
- ¿Crees que se le da la debida importancia a los temas de prevención?  
SI X NO \_\_\_\_\_
- ¿Cuentas con una mochila de seguridad preparada para cualquier eventualidad o emergencia?  
SI \_\_\_\_\_ NO X
- ¿Existe en la Localidad un plan de evacuación preventivo contra los desastres naturales?  
SI \_\_\_\_\_ NO X

## ANEXO N°5

### FICHA TÉCNICA DE LA CUENCA DEL RÍO PURUAY – CAJAMARCA

<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>TOTAL</b>
<b>Departamento</b>		Cajamarca
<b>Provincia</b>		Cajamarca
<b>Distrito</b>		Cajamarca
<b>Total, de centros poblados</b>		120
<b>CENTROS POBLADOS</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>ALTITUD</b>
<b>Quishuar Corral.</b>	93	3515.2
<b>Aliso Colorado.</b>	680	3353.5
<b>Puruay Bajo.</b>	160	3045.5
<b>Puruay Alto.</b>	420	3240.5
<b>Llushcapampa Baja y Alta.</b>	600	3045.0
<b>Llanomayo.</b>	240	3228.9
<b>Tual.</b>	580	3451.8
<b>Cince Las Vizcachas.</b>	240	3543.1
<b>Huambocancha Baja.</b>	1700	2791.5
<b>Ciudad de Cajamarca</b>	125000	2731.2

## ANEXO N°6

### ANTECEDENTES DE PRESENCIA EXCESIVA DE METALES PESADOS (COBRE Cu) EN EL RÍO PURUAY – CAJAMARCA.


Punto de monitoreo			Parámetros	Época de Monitoreo	Resultados	ECA – CLASE 1 – A2	Método del Semáforo		
Código	Ubicación	Coordenadas de ubicación (UTM – WGS84)							
RPorc 1	100 m. aguas arriba de la captación de la planta de tratamiento de agua potable. “El Milagro”	9414156 N 751065 E	Al	Estiaje (Octubre)	0,610 mg/L	5 mg/L			
				Creciente (Enero)	0,085mg/L				
			Cd	Estiaje (Setiembre)	< LCM	0,005 mg/L			
				Creciente (Diciembre)	< LCM				
			Fe	Estiaje (Setiembre)	1,021 mg/L	1 mg/L			
				Creciente (Diciembre)	1,680				
			Cu	Estiaje (Setiembre)	0,005 mg/L	6.mg/L			
				Creciente (Diciembre)	1,005 mg/L				
			Pb	Estiaje (Setiembre)	0,004 mg/L	0,05 mg/L			
				Creciente (Diciembre)	< LCM				
Zn	Estiaje (Setiembre)	0,06 mg/L	5 mg/L						
	Creciente (Diciembre)	0,027 mg/L							

<b>Categoría 1: Uso poblacional y recreacional</b>	
<i>Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</i>	
A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	0.01
A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	0.01
A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	0.05
<i>Aguas superficiales destinadas para recreación</i>	
B1: Contacto primario	0.01
B2: Contacto secundario	**
<b>Categoría 2: Actividades marino costeras</b>	
C1: Extracción y cultivo de moluscos bivalvos	0.05
C2: Extracción y cultivo de otras especies microbiológicas	0.05
C3: Otras actividades	0.05
<b>Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales</b>	<b>0.05</b>
<b>Categoría 4: Conservación del ambiente acuático</b>	
<i>Lagunas y lagos</i>	<i>0.01</i>
<i>Ríos</i>	
Costa y Sierra	0.01
Selva	0.05

**Resumen de cuadros de concentraciones máximas permisibles de Cobre (mg/L) en el agua según los ECA (estándares nacionales de calidad ambiental)**

Estándares de calidad 2017, destinadas para uso de bebidas de animales y regadío de vegetales

Fuente: Autoridad Nacional del Agua – Perú, 2019

<b>16</b>		<b>NORMAS LEGALES</b>		Miércoles 7 de junio de 2017 /  <b>El Peruano</b>	
<b>Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales</b>					
Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,0-8,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	50	50	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0015	0,00077
Níquel	mg/L	0,0052	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0051	0,0051	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0005
Zinc	mg/L	0,051	0,051	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

Resultados de análisis de barrido de metales pesados en la cuenca Rio Puruay – Cajamarca realizado por el ANA (Autoridad Nacional del Agua) – 2019, resultado usado como antecedente.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua – Perú, 2019

NORMAS LEGALES						
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático						
Parámetro	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Sierra	Costeros	Marinos
<b>PHÍSICO-QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MGP)	mg/L	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cloruro Libre	mg/L	0.0002	0.0002	0.0002	0.001	0.001
Color (Pt)	Color verdadero Escala PCCo	20 (at)	20 (at)	20 (at)	??	??
Cloruros A	mg/L	??	??	??	??	??
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	??	??
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	10	10
Fosfatos	mg/L	2.50	2.50	2.50	5.0	5.0
Fósforo total	mg/L	0.020	0.02	0.02	0.120	0.002
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10	10	10	200	200
Amoníaco total (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno total	mg/L	0.200	??	??	??	??
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 20	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 20
Sulfuro	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Temperatura	°C	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>IONICANCIÓNES</b>						
Aluminio	mg/L	0.04	0.04	0.04	??	??
Arsénico	mg/L	0.15	0.15	0.15	0.050	0.050
Boro	mg/L	0.1	0.1	0.1	1	??
Calcio Disuelto	mg/L	0.00025	0.00025	0.00025	0.0005	0.0005
Cobalto	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.011	0.011	0.011	0.05	0.05
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Níquel	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.005	0.005
Plomo	mg/L	0.0025	0.0025	0.0025	0.001	0.001
Selenio	mg/L	0.005	0.005	0.005	0.01	0.011
Talio	mg/L	0.0005	0.0005	0.0005	??	??
Zinc	mg/L	0.12	0.12	0.12	0.050	0.050
<b>IONICANCIÓNES</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Halocarbonos Totales de Péndulo	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tricloroetileno	mg/L	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
<b>ESTRÓGENOS</b>						
Estroeno	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>Metales Pesados y Metales</b>						
Benceno (pHeno)	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Anticeno	mg/L	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
Fluoranteno	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Substancias Endocrinas</b>						
Esteroles Policíclicos (PCP)	mg/L	0.000014	0.000014	0.000014	0.00003	0.00003
<b>PLAQUICIDAS</b>						
<b>Desinfectantes</b>						
Malatión	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Paratión	mg/L	0.00003	0.00003	0.00003	??	??
<b>Desinfectantes</b>						
Acido	mg/L	0.00004	0.00004	0.00004	??	??
Clorano	mg/L	0.000003	0.000003	0.000003	0.00004	0.00004
DBP (Suma de 4-H-CDBP y 4-H-CDBP)	mg/L	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Clorito	mg/L	0.00005	0.00005	0.00005	0.000015	0.000015
Endosulfen	mg/L	0.00005	0.00005	0.00005	0.000057	0.000057
Endrin	mg/L	0.00005	0.00005	0.00005	0.000023	0.000023
Heptacloro	mg/L	0.000005	0.000005	0.000005	0.000005	0.000005

## REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor				
<b>VICTOR HUGO VILLANUEVA HERRERA</b>		<b>46774219</b>	victor_herrera_1992@hotmail.com	
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico	
2. Tipo de Documento de Investigación				
Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	Trabajo Académico	Trabajo de Investigación
3. Grado Académico o Título Profesional <sup>1</sup>				
Bachiller		Título Profesional	<input checked="" type="checkbox"/>	Título Segunda Especialidad
			Maestría	Doctorado
4. Título del Documento de Investigación				
<b>Remoción de las aguas del río Puruay utilizando un biofiltro, empleando la zeolita en el Centro Poblado Huambocancha Baja – Cajamarca – 2022.</b>				
5. Programa Académico				
INGENIERIA CIVIL				
6. Tipo de Acceso al Documento				
Abierto o Público <sup>3</sup> (info:eu-repo/semantics/openAccess)		<input checked="" type="checkbox"/>	Acceso restringido <sup>4</sup> (info:eu-repo/semantics/restrictedAccess) (*)	
(*) En caso de restringido sustentar motivo				

**A. Originalidad del Archivo Digital**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forma parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

**B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS <sup>5</sup>**

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento. <sup>6</sup>

Huello Digital			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #0070C0; color: white;"> <th>Lugar</th> <th>Día</th> <th>Mes</th> <th>Año</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Chimbote</td> <td style="text-align: center;"><u>2</u> <u>3</u></td> <td style="text-align: center;"><u>1</u> <u>0</u></td> <td style="text-align: center;"><u>2</u> <u>0</u> <u>2</u> <u>4</u></td> </tr> </tbody> </table>	Lugar	Día	Mes	Año	Chimbote	<u>2</u> <u>3</u>	<u>1</u> <u>0</u>	<u>2</u> <u>0</u> <u>2</u> <u>4</u>
Lugar	Día	Mes	Año								
Chimbote	<u>2</u> <u>3</u>	<u>1</u> <u>0</u>	<u>2</u> <u>0</u> <u>2</u> <u>4</u>								
		Firma									

**Importante**

1. Según Resolución de Consejo Directivo N° 033-2018-SUNEDU-CD, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art. 8, inciso 8.2
2. Ley N° 30305: Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 036-2015-PCM
3. Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad San Pedro una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundir en el Repositorio Institucional Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822
4. En caso de que el autor elija la segunda opción, únicamente se publicará los datos del autor y resumen de la obra, de acuerdo a la directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC (numerales 5.2 y 6.7) que norma el funcionamiento del Repositorio Nacional Digital.
5. Las licencias Creative Commons (CC) es una organización internacional sin fines de lucro que pone a disposición de los autores un conjunto de licencias flexibles y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de información, recursos educativos, obras artísticas y científicas, entre otros. Estas licencias también garantizan que el autor obtenga el crédito por su obra.
6. Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI a través del Repositorio ALICIA".

**Nota.** - En caso de falsedad en los datos, se procederá de acuerdo a la ley (Ley 27444, art. 32, núm. 32.3)

# Remoción de las aguas del río Puruay utilizando un biofiltro, empleando la zeolita en el Centro Poblado Huambocancha Baja – Cajamarca – 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>documents.mx</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repository.unipiloto.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.bolivianchemistryjournal.org</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>oa.upm.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>www.cepis.org.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

9	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
10	fdocument.org Fuente de Internet	<1 %
11	doi.org Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
13	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
15	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	<1 %
17	toxamb.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
18	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
22	<a href="http://rraae.cedia.edu.ec">rraae.cedia.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://parametrosdecalidad.blogspot.com">parametrosdecalidad.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.unas.edu.pe">repositorio.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://vdocumento.com">vdocumento.com</a> Fuente de Internet	<1 %

31	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://www.atsdr.cdc.gov">www.atsdr.cdc.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://ejercito.cl">ejercito.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://fdocuments.es">fdocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080">dgsa.uaeh.edu.mx:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
39	Submitted to Instituto Politecnico Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
40	<a href="http://www.oalib.com">www.oalib.com</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://muestracine.wordpress.com">muestracine.wordpress.com</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://www.weymaster.com.mx">www.weymaster.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

43	<b>cec.org</b> Fuente de Internet	<1 %
44	<b>ri2.bib.udo.edu.ve</b> Fuente de Internet	<1 %
45	<b>www.giatica.info</b> Fuente de Internet	<1 %
46	<b>es.rbth.com</b> Fuente de Internet	<1 %
47	<b>fdocuments.ec</b> Fuente de Internet	<1 %
48	<b>idetec.frvn.utn.edu.ar</b> Fuente de Internet	<1 %
49	<b>impeller.xyleminc.com</b> Fuente de Internet	<1 %
50	<b>issuu.com</b> Fuente de Internet	<1 %
51	<b>portal.amelica.org</b> Fuente de Internet	<1 %
52	<b>repository.uamerica.edu.co</b> Fuente de Internet	<1 %
53	<b>stutzartists.org</b> Fuente de Internet	<1 %
54	<b>web10.unl.edu.ar:8080</b> Fuente de Internet	<1 %

55	<a href="http://www.csi-csif-murcia.com">www.csi-csif-murcia.com</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://www.iitap.iastate.edu">www.iitap.iastate.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="http://es.unionpedia.org">es.unionpedia.org</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://infopublica.mineduc.gob.gt">infopublica.mineduc.gob.gt</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="http://mediambient.gencat.net">mediambient.gencat.net</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://rural-water-supply.net">rural-water-supply.net</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://unece.org">unece.org</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://www.mineraformas.cl">www.mineraformas.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://www.msmanuals.com">www.msmanuals.com</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %

67 [www.turiskopio.com](http://www.turiskopio.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

68 [dspace.espoch.edu.ec](http://dspace.espoch.edu.ec) <1 %  
Fuente de Internet

---

69 [html.rincondelvago.com](http://html.rincondelvago.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

70 [www.clubensayos.com](http://www.clubensayos.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 6 words

Excluir bibliografía

Activo

