



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

“Disminución de arsénico mediante un filtro de diatomita del agua de afloramiento  
subterráneo en el campamento Cedro-Pataz”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Diego Alonso Estrada Benavides

**ASESOR:**

MsC. Isidoro Valderrama Ramos

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

**TRUJILLO- PERÚ**

2016

Hoja Jurado

---

Ing. ALBERTO QUEZADA ALVAREZ

---

Ing. MISAEL YDILBRANDO VILLACORTA

---

Ing. ISIDORO VALDERRAMA RAMOS

## DEDICATORIA

Dios, sé que siempre me cuida y sonrío al ver que logro alcanzar una meta más.

### **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

*Yo, ESTRADA BENAVIDES, DIEGO ALONSO con DNI N° 73487345, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniera Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.*

*Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.*

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

*Trujillo, Diciembre del 2016*

**ESTRADA BENAVIDES, DIEGO ESTRADA**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Francisco Estrada y Elizabeth Benavides, son mi motivo para querer mejorar cada día, son mis compañeros en momentos de alegría y tristeza, es por ello que siempre les estaré eternamente agradecido.

A Rita Otiniano quien es la luz que me guía, ayuda y apoya en todo.

A mi asesor el Ing. Isidoro por orientarme en la realización de la tesis.

Al Laboratorio de Control de Calidad de Sedalib S.A. en especial al Blgo. Armando Araujo y al Ing. Cesar por facilitarme con los análisis.

Al Ing. Filimon Quispe de la Cía. Minera Poderosa por guiarme y apoyarme con muestras y materiales para la realización de esta investigación.

A mis amigos Rony Salaverry & Olenka Baca por ayudarme en la realización de la tesis y tantos años de amistad.

## PRESENTACION

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Disminución de arsénico mediante un filtro de diatomita del agua de afloramiento subterráneo en el campamento Cedro-Pataz” describe el trabajo realizado para la obtención de resultados óptimos de los ensayos realizados.

En la primera parte se redacta la introducción la cual menciona la realidad problemática que motivo a la realización de la investigación posteriormente se encuentra la recopilación de información proveniente de investigaciones previas que servirán para comparar los resultados de esta investigación. Luego se hace mención a las teorías relacionadas al tema.

Se formuló el problema de la investigación con su respectiva justificación debido a que el arsénico es un metal sumamente tóxico para la salud de las personas y del medio ambiente, un parámetro determinante para considerar que el agua sea apta para consumo humano, luego se plantea una hipótesis en la cual se estima la obtención de mejores resultados en la disminución de arsénico con la variación de factores como la altura de lecho y la granulometría.

La segunda parte muestra la metodología utilizada, los análisis realizados, la población y muestra empleada y los resultados.

## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCION.....	11
1.1.	REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	11
1.2.	TRABAJOS PREVIOS.....	12
1.3.	TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA.....	15
A.	<i>Afloramiento Subterráneo</i> .....	15
B.	<i>Arsénico en el agua</i> .....	15
C.	<i>Normativa Peruana de Agua para Consumo Humano</i> .....	16
D.	<i>Consecuencias del Arsénico en el agua para consumo</i> .....	17
E.	<i>Proceso de Adsorción</i> .....	17
F.	<i>Diatomita</i> .....	18
G.	<i>Filtro de diatomita</i> .....	19
H.	<i>Características de la diatomita</i> .....	20
1.4.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.5.	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	21
1.6.	HIPÓTESIS.....	21
1.7.	OBJETIVOS.....	22
1.7.1.	<i>Objetivo General</i> .....	22
1.7.2.	<i>Objetivo Específico</i> .....	22
II.	METODOLOGÍA.....	23
2.1.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.2.	VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	23
2.2.1.	<i>Variables independientes:</i> .....	23
2.2.2.	<i>Variables dependientes:</i> .....	23
2.2.3.	<i>Operacionalización de variables:</i> .....	24
2.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	25
2.3.1.	<i>Población</i> .....	25
2.3.2.	<i>Muestra</i> .....	25
2.3.3.	<i>Unidad de análisis</i> .....	25
2.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	25
2.5.	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	26
2.5.1.	<i>METODOLOGIA</i> .....	26
2.5.2.	<i>MATERIALES</i> .....	27
2.6.	ASPECTOS ETICOS.....	28
III.	RESULTADOS.....	29
IV.	DISCUSION.....	34
V.	CONCLUSIONES.....	36
VI.	RECOMENDACIONES.....	37
VII.	REFERENCIAS.....	38
VIII.	ANEXOS.....	41

Tabla 1. Diseño de investigación.....	23
Tabla 2. Operacionalización de variables .....	24
Tabla 3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
Tabla 4. Caracterización de la muestra de agua del afloramiento subterráneo .....	29
Tabla 5. Resultados medidos en partes por millón (ppm) .....	29
Tabla 6. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error .....	30
Tabla 7. Análisis de varianza: Pruebas de efectos inter-sujetos .....	31
Tabla 8. Prueba post hoc para variable Granulometría.....	33
Ilustración 1: Mapa satelital del Campamento Cedro, Provincia de Pataz, La Libertad .....	25
Ilustración 2: Dimensiones de filtro de diatomita.....	27
Ilustración 3: Diatomita natural .....	42
Ilustración 4: Molido de Diatomita.....	42
Ilustración 5: Calcinado de diatomita .....	42
Ilustración 6. Tamizado de diatomita.....	42
Ilustración 7: Prueba del filtro.....	42



## RESUMEN

Este trabajo de tesis se realizó con el objetivo de disminuir el arsénico con concentraciones entre 0.15 presente en aguas del afloramiento subterráneo ubicado en Cedro – Pataz del departamento de La Libertad, mediante el proceso de adsorción-filtración, con la finalidad de emplearla como fuente de agua potable. De acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de aguas, se tomó muestras de agua del afloramiento subterráneo antes mencionado. Se realizó la caracterización físico-química de la fuente de agua determinándose que la concentración promedio de arsénico excede los límites máximos permisibles establecidos por DIGESA D.S. N° 031-2010-S.A. En tal sentido, para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano, específicamente el arsénico, se realizó un filtro de diatomitas con tres tipo de granulometría (20, 50,70) y dos alturas del lecho (10 y 15 cm). Los mejores resultados de disminución de arsénico se obtuvieron trabajando a una altura de lecho de 15 cm y una granulometría de 70 mesh siendo el porcentaje de disminución del 97.43%.

**Palabras clave:** Diatomita, adsorción, arsénico.

## ABSTRACT

This thesis work was carried out with the objective of reducing the volume with the concentrate and the concentrations between 0.15 present in the waters of the underground process in Cedro - the patron of the department of La Libertad, by the process of adsorption-filtration, with the purpose To be used as a source of drinking water According to the protocol for monitoring water quality, water samples were taken from the aforementioned underground outcrop. The physical-chemical characterization of the water source was carried out by determining that the concentration of arsenic exceeds the maximum allowable limits established by DIGESA D.S. No. 031-2010-S.A. In order to improve the quality of water for human consumption, specifically arsenic, a diatomite filter was made with three types of granulometry (20, 50,70) and two bed heights (10 and 15 cm). The best results of the reduction of arsenic that move to a bed height of 15 cm and a granulometry of the 70 mesh being the percentage of the decrease of 97.43%.

**Key Words:** Diatomite, adsorption, arsenic.

## I. INTRODUCCION

### 1.1. Realidad Problemática

La contaminación por arsénico de las aguas subterráneas es un problema muy extendido; varias regiones presentan niveles importantes de consumo de agua contaminada. En Bangladesh el arsénico ha cobrado gran protagonismo desde que se descubrió, en los años noventa, que este elemento está ampliamente presente en el agua de los pozos. Desde entonces, se han logrado notables progresos, y el número de personas expuestas al arsénico en niveles superiores a los permitidos por las normas nacionales de calidad del agua potable ha disminuido en alrededor de un 40%. Pese a estos esfuerzos, se estima que el número de personas con riesgo de exposición a concentraciones de arsénico superiores a la norma nacional de 50 µg/litro y al valor guía de la OMS de 10 ug/litro ronda en Bangladesh los 20 millones y los 45 millones de personas, respectivamente. (Flanagan y otros, 2012)

En una investigación realizada recogieron muestras de agua de 139 suministros de agua en 12 distritos de Perú, y se midieron las concentraciones de arsénico en el laboratorio teniendo como resultado un 86% (96/111) de las muestras de agua subterránea, el arsénico superó el límite de 10 mg/l de la concentración de arsénico establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable. Finalmente se identificó de forma correcta contaminación por arsénico respecto al límite en el 95% (106/111) de las aguas subterráneas y en el 68% (19/28) de las muestras de agua superficiales. (George, et al., 2014)

La localidad de Cedro, Provincia de Pataz no es ajeno a este problema, ya que existe una afloración subterránea de agua que contiene Arsénico, metal tóxico, por lo que debe ser tratada para poder suministrar agua para consumo humano de calidad y así cumpla con las normativas vigentes.

## 1.2. Trabajos Previos

Según Rojas, Karen (2016) en su tesis titulada “Remoción de arsénico (V) y cromo (VI) presente en lechos acuáticos mediante el uso de tierra de diatomeas recubierta con sales de hierro, Arequipa 2016” trabajó a tres temperaturas (10 °C, 20 °C y 30 °C), a pH 4,6 para arsénico y pH 6 para cromo, obteniendo los mejores resultados de remoción para el arsénico a 30°C que logró remover  $173,08 \pm 0,003$  mg de arsénico/g diatomea recubierta; mientras que para el caso del cromo, los mejores resultados se obtuvieron trabajando a 20°C, que logró remover  $124,88 \pm 0,002$  mg de cromo/g diatomea recubierta, con un tiempo de exposición de 270 minutos.

Según Mayorga, Paloma en su tesis doctoral “Arsénico en aguas subterráneas su transferencia al suelo y a la planta” se planteó entre sus objetivos contribuir al conocimiento de las causas de la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas de un sub-sector de la Cuenca Terciaria del Duero y su evolución temporal, encontrando así que el agua tiene un alto contenido de bicarbonato disuelto que puede movilizar el As por desplazamiento de las superficies minerales; además que el contenido de fondo de As en el suelo de la zona es bajo, por consiguiente la elevada concentración de arsénico en suelos agrícolas es debida al riego con agua contaminada por arsénico.

Según J-H, Bae y Song (2015) en su artículo científico “Efecto de las características de los poros en la permeabilidad de filtro de tierra de diatomeas sinterizado para la microfiltración” nos muestra que la presión aplicada durante el procesamiento de cuerpos verdes y la incorporación de poros esféricos a la diatomita sintetizada afectan directamente a las características de los poros y por consiguiente determinan la permeabilidad de los filtros de diatomita sintetizada como una membrana cerámica porosa para microfiltración.

Según Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz y Garcés-Jaraba (2015) en su artículo científico “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico” nos dice que bioadsorción, surge como una

alternativa que llama la atención en la remoción de iones de metales pesados en los efluentes industriales, ya que, es una tecnología que permite no solo removerlos, si no también, darle un tratamiento a los desechos agrícolas que antes no tenían ninguna utilidad, además, estos materiales bioadsorbentes son de bajo costo y fácil adquisición. Entre las ventajas que presenta la bioadsorción, en comparación con las técnicas convencionales se tiene: bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos y lodos biológicos.

Según Meza Bazán (2013) en su tesis “Remoción De Coliformes Y Metales en Aguas Residuales Mediante Diatomeas” se evaluó la calidad del agua del influente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y los efluentes de los filtros de tierras de diatomeas. Los resultados obtenidos en los parámetros microbiológicos nos muestran un porcentaje de remoción de Coliformes totales y fecales de 90 a 99.9 % en los primeros 30 minutos de filtrado. Con el paso del tiempo se observó una ligera pérdida de su capacidad de remoción arrojando valores de remoción de 85.38 a 99.9 % en Coliformes fecales y de 89.68 a 99.9 % en Coliformes totales, esto para un grosor de empaque de 5 cm de tierra de diatomeas; ya que con un empaque de 10 cm los porcentajes son más constantes y van de 96.69 a 99.8 %. El análisis indica que la tierra de diatomeas tiene una alta capacidad de remoción de Coliformes totales y fecales. Los resultados de la adsorción de la Tierra de diatomeas natural nos mostraron una gran capacidad para adsorber el ion  $As^{3+}$  con un porcentaje de remoción superior al 99.9 %.

Según Pantoja, Jones, Garelick, Mohamedbakr y Burkitbayev (2013) en su artículo científico “La eliminación de arseniato de agua utilizando diatomita hierro modificado (D-Fe): isotérmicos y de experimentos de columna” declara que el hidróxido de hierro apoyado en la tierra de diatomeas porosa (D-Fe) es un material de bajo costo con potencial para eliminar el arsénico del agua contaminada debido a su afinidad por el ion arseniato. Esta afinidad se puso a prueba en diversas condiciones de pH, tiempo de contacto, contenido de hierro en D-Fe y la presencia de silicato y fosfato.

Se llevaron a cabo por lotes y columna experimental para derivar las isothermas de adsorción y comportamientos de avance ( $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ) para una concentración inicial de  $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ . La capacidad máxima a pH 4 y 17% de hierro era 18,12 a 40,82 mg de arsénico/g de D-Fe y a pH 4 y 10% de hierro era 18,48 a 29,07 mg de arsénico/g de D-Fe. La adsorción se redujo en presencia de iones fosfato y silicato. La diferencia en el comportamiento de adsorción en columna entre el 10% y el 17% de hierro prevalezca sobre el impacto de todos los otros parámetros medidos. Hubo pruebas insuficientes de una correlación entre el contenido de hierro y el contenido de arsénico en los experimentos de las isothermas, lo que sugiere que el intercambio de iones es un proceso insignificante ocurriendo en arseniato adsorción utilizando D-Fe ni hay co-precipitación del arseniato por el aumento del contenido de hierro del soluto encima de la saturación.

Según Ruiz Sánchez (2013) en su tesis titulada “Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia San Isidro del Cantón Guano” nos dice que la tierra de diatomeas, una sílice casi pura formada a partir de yacimientos de esqueletos de diatomeas, y la perlita expandida, partículas de lava hinchada, que químicamente es un silicato alcalino de aluminio son porosos y capaces de formar una torta porosa para minimizar la resistencia al flujo y químicamente inertes con el filtrado. En ocasiones se utilizan fibras de celulosa (madera troceada y molida) cuando no pueden ser utilizados materiales a base de sílice, pero son más compresibles. El uso de otros materiales como asistentes de la filtración menos eficaces (por ejemplo, carbón o yeso) está justificado en casos especiales. A veces una combinación de sílice y tierra de diatomeas permite la adsorción además de ser un asistente en la filtración. También concluyó que la Tierra de diatomeas soporta pH más extremos que la perlita, y hasta cierto punto es menos compresible.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **A. Afloramiento Subterráneo**

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. La dirección y velocidad del movimiento del agua subterránea están determinadas por varias características del acuífero y de las capas impermeables del suelo (donde el agua tiene dificultad en penetrar). Las dos propiedades de los acuíferos que afectan el almacenamiento y flujo del agua subterránea son la porosidad (cantidad de espacio abierto en el material) y la conductividad hidráulica (medida de la habilidad de un acuífero para transmitir agua). Si la roca permite que el agua se mueva de una forma relativamente libre dentro de ella, puede moverse distancias significativas en un corto periodo de tiempo, pero también puede ir a acuíferos más profundos, donde demorará años en volver a ser parte del ambiente. (Neri, 2009).

El agua subterránea a más profundidad con frecuencia se usa para la agricultura y la industria. Puede contener arsénico o uranio, la mayor parte del agua subterránea se halla en regiones montañosas y tropicales y los depósitos más grandes están en la cuenca del Amazonas, el Congo, Indonesia y a lo largo de las fronteras occidentales de América del Norte y del Sur (El Financiero, 2015)

#### **B. Arsénico en el agua**

Arsénico es un semi-metal, o metaloide, cuyas propiedades varían si se entremezclan entre los metales y no-metales. El arsénico ocurre de manera natural tanto en la tierra como el mar. No tiene sabor ni olor.

El Arsénico (As) es un elemento común en las rocas de la corteza terrestre, en el suelo, en todas fuentes naturales de exposición, o pueden encontrarse en las aguas salobres profundas usadas para la producción de aceite y gas natural.

Las fuentes externas de arsénico son debido al uso continuado de compuestos y pesticidas, la liberación no intencionada en actividades de minería de oro y plomo y, por supuesto, a la combustión del carbón. Los efluentes industriales también contribuyen a la liberación de arsénico en el agua en ciertas áreas. Se piensa que el arsénico que se libera de manera natural se disuelve en ciertas formaciones rocosas cuando el nivel de agua subterránea cae significativamente. Los contaminantes superficiales de arsénico entran los sistemas de aguas subterráneas cuando se va moviendo con el flujo de las lluvias, derretimiento de nieve, etc. El agua potable, especialmente agua subterránea, es uno de las mayores fuentes de consumo de arsénico para la mayoría de la gente. El arsénico está presente de forma natural en niveles altos en las aguas subterráneas de varios países. El arsénico es un elemento ubicuo y abundante. En la naturaleza se encuentra distribuido en una gran variedad de minerales formando por lo común sales de Cu, Ni, Fe o sulfatos y óxidos. En el agua puede encontrarse como arsenato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ) o como arsenito ( $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{As}^{3+}$ ). También existen compuestos metilados, pesticidas y emisión de As en el ambiente como resultado de la actividad biológica. Además, las fuentes antropogénicas tales como fertilizantes, pesticidas, emisión de fundiciones y combustión de energéticos fósiles, contribuyen de manera importante a la liberación de As al ambiente. (Moreno, 1999)

### **C. Normativa Peruana de Agua para Consumo Humano**

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales. Los límites máximos permisibles (LMP) de agua para consumo humano, viene a ser el nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos, sustancias que al ser ingeridos puede ocasionar daños a la salud de las personas. Los límites aprobados son de cumplimiento obligatorio para las empresas que brindan el servicio de agua potable, siendo el límite 0,010 mg As/L según indica el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA.



#### **D. Consecuencias del Arsénico en el agua para consumo**

El arsénico existe tanto en forma orgánica como inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud. (Flanagan y otros, 2012)

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte. Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC. (Flanagan y otros, 2012)

#### **E. Proceso de Adsorción**

La adsorción se ha convertido en una de las técnicas alternativas de tratamiento de las aguas contaminadas con metales pesados, por ser un método económico y efectivo. La adsorción es un proceso de transferencia de masa por el cual se transfiere una sustancia soluble presente en la interfase de una solución a la superficie de un sólido, donde es confinado por interacciones físicas y/o químicas. Debido a su

gran superficie, alta capacidad de adsorción y reactividad de la superficie (Kurniawan, 2006).

## **F. Diatomita**

Diatomita es una roca sedimentaria de grano fino de origen biológico. Está compuesta de silicio amorfo, presente en los esqueletos de las diatomeas o sus frústulas. La estructura de la diatomita es un poco compleja y contiene numerosos poros finos microscópicos, cavidades y canales y por consiguiente el material tiene una gran superficie específica, alta capacidad de absorción y baja densidad. (Meza, 2013)

“Las propiedades de la superficie de la diatomita tales como hidrofobia , solubilidad, carga, acidez, intercambio de iones y capacidades de adsorción , son en gran medida controladas por la presencia de agua , la cual esta parcial y estructuralmente conectado a la red de cristales de la diatomita, formando activos grupos hidroxilo sobre ellos. Diatomita o tierra de diatomeas tiene un color pálido, suave, ligero, en su estructura posee arriba de 80-90% de huecos” (Hossam, 2010, p.125).

En la producción de agua potable, la filtración con Tierra de diatomeas es una separación mecánica de sólidos y microorganismos contenidos en el agua. El primer prototipo que utilizo la DE<sup>1</sup> para la producción de agua potable fue utilizado por el ejército de los Estados unidos durante la segunda guerra mundial. Hoy en día existen aproximadamente 200 plantas en los Estados Unidos produciendo agua para consumo humano de gran calidad a un bajo costo mediante el uso de la tecnología de filtración de la DE.

La filtración con DE es uno de los cuatro métodos originalmente enlistado por la USEPA<sup>2</sup> para la remoción de patógenos resistentes al cloro, muchos profesionales y reguladores en el campo municipal no están completamente convencidos de las capacidades de esta comprobada y eficiente tecnología. Considerando que virtualmente todas las otras bebidas tienen alguna forma de filtración con DE en su

---

<sup>1</sup> Diatomita earth

<sup>2</sup> US Environmental Protection Agency

proceso de producción, es evidente que la DE ha sido largamente supervisada para agua potable.

Pequeñas comunidades con recursos limitados se están convenciendo de la necesidad de filtrar sus aguas superficiales a costos razonables, y la filtración con DE podría bien ser un atractivo tratamiento. (Meza, 2013)

Las diatomitas se han utilizado como agentes de extracción de metales pesados, pueden ser modificadas químicamente mediante la introducción en su estructura de grupos funcionales adecuados para dirigirse a un contaminante en particular. Sin duda, el enriquecimiento de los materiales de origen natural para la eliminación selectiva de contaminantes iónicos constituye una alternativa económica para la remoción de contaminantes metálicos. (Danil de Namor y otros, 2012)

#### **G. Filtro de diatomita**

Estos filtros, también llamados de pre capa, pueden eliminar partículas de hasta 0.1  $\mu\text{m}$  sin necesidad de desestabilizarlas por coagulación. Se caracterizan por una gran superficie de filtración en relación al tamaño y peso de los filtros, lo que los hace más apropiados para equipos portátiles o bien para depuración a escala doméstica o individual.

La filtración ocurre fundamentalmente en la superficie por micro tamización, donde se forma una especie de película filtrante, lo que condiciona que la capa filtrante sea de poco espesor, generalmente del orden de 3 mm.

La filtración suele hacerse a presión o por un dispositivo de vacío. Pueden usarse para aguas que por su baja turbidez no necesitan tratamiento de coagulación, que, conforme va avanzando el proceso de filtración y se forma la película superficial, puede llegar a alcanzar hasta 10 mm o más. Sin embargo, su empleo más usual es para la depuración de aguas de piscinas. (Meza, 2013)

## H. Características de la diatomita

La diatomita es una roca silícica, sedimentaria de origen biogénico, compuesta por esqueletos fosilizados de las frústulas de las diatomeas. Se forma por la acumulación sedimentaria de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas. Está compuesta de esqueletos opalinos fosilizados de la diatomea; los esqueletos se componen de la sílice amorfa.

La diatomita se forma por la acumulación sedimentaria hasta formar grandes depósitos con un grosor suficiente para tener un potencial comercial. (Huertas, 2011)

Propiedades físicas:

- Aspecto macroscópico: Roca purulenta, fina y porosa con aspecto margoso.
- Color por lo regular blanco brillante (en el caso de alta pureza)
  - ✓ Pueden estar coloreadas
  - ✓ Blanco (calcinado con fundente)
  - ✓ Rosa (calcinado)
  - ✓ Gris (sin calcinar)
- Alta porosidad
- Volumen de muy baja densidad
- Capacidad para absorber líquidos muy alta
- Capacidad abrasiva suave
- Conductividad térmica muy baja
- Alta resistencia a la temperatura
- Punto de fusión entre 1,400° a 1,750°C
- Peso específico 2.0 (la calcinación la incrementa a 2.3)
- Área superficial 10 a 30 m<sup>2</sup>/g (la calcinación la reduce a 0.5 a 5 m<sup>2</sup>/g)
- Índice de refracción 1.4 a 1.46 (la calcinación la incrementa a 1.49)
- Dureza (Mohs) 4.5 a 5 (la calcinación la incrementa a 5.5 a 6)
- Químicamente inerte

- El porcentaje de humedad varía de acuerdo al depósito (entre 10% hasta un 60%) (Huertas, 2011).

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuál es el nivel de disminución de arsénico ( $As^{+3}$ ), mediante un filtro de diatomita a diferentes alturas de lecho y granulometría, del agua obtenida por afloramiento subterráneo en el Campamento Cedro, Pataz?

#### **1.5. Justificación del estudio**

El agua es esencial para la vida, y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del tratamiento al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud.

En el Campamento Cedro de la Cía. Minera Poderosa– Pataz se pretende ofrecer un suministro de agua potable para la población que habita allí; pero el agua que se pretende utilizar obtenida por afloración subterránea presenta concentraciones de arsénico, metal altamente peligroso para la salud. Es por ello, el presente proyecto busca disminuir el arsénico del agua mencionada anteriormente con un filtro de diatomita. Y así finalmente cumplir con el Límite máximo permisible para Arsénico del Reglamento de la Calidad del agua para consumo humano (DS.031-2010 SA.).

#### **1.6. Hipótesis**

A una menor granulometría de diatomita y mayor altura de lecho existe un nivel significativo de disminución de arsénico del agua de un afloramiento subterráneo ubicado en el campamento de Cedro-Pataz.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Evaluar el nivel de disminución de arsénico ( $\text{As}^{+3}$ ) mediante el uso de un filtro de diatomita a diferentes alturas de lecho y granulometría, a nivel laboratorio, del agua obtenida de un afloramiento subterráneo en el Campamento Cedro-Pataz.

### **1.7.2. Objetivo Específico**

- Determinar el porcentaje de disminución de arsénico a diferentes alturas de lecho de diatomita.
- Determinar el porcentaje de disminución de arsénico a diferentes granulometrías de diatomita.
- Verificar que la muestra de agua tratada no sobrepasa el límite máximo permisible para Arsénico del Reglamento de la Calidad del agua para consumo humano (D.S. 031-2010 SA.).

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se realizó un diseño experimental Factorial con dos variables independientes los cuales son: altura de lecho y granulometría y con una variable dependiente: disminución de arsénico.

**Diseño Experimental:** Diseño factorial.

Variable Independiente (H)

H1	H2
----	----

Variable Independiente (G)

G1	G2	G3
----	----	----

**Tabla 1. Diseño de investigación**

	G1	G2	G3
H1	H1 G1	H1 G2	H1 G3
H2	H2 G1	H2 G2	H2 G3

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

G= Granulometría

H= Altura de lecho

G1= Granulometría a 20 mesh

H1= Altura de lecho a 10 cm

G2= Granulometría a 50 mesh

H2= Altura de lecho a 15 cm

G3 Granulometría a 70 mesh

### 2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

#### 2.2.1. Variables independientes:

- Altura de lecho (cm)
- Granulometría de la Diatomita (mesh).

#### 2.2.2. Variables dependientes:

- Disminución de Arsenico<sup>+3</sup>

### 2.2.3. Operacionalización de variables:

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones o SubVariables	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Filtro de Diatomita	Son utilizados como agentes de extracción de metales pesados y pueden ser modificados químicamente mediante la introducción de grupos funcionales en su estructura para dirigirse a un contaminante en particular. (Rojas, 2016)	Altura de lecho	Se medirá 5 y 10 cm de altura del lecho con ayuda de la cinta métrica	Milímetros (mm)	Razón
		Granulometría	Se tamizará la diatomita en 20, 50 y 70 mesh	Centímetros (cm)	
% de disminución de As <sup>+3</sup>	La disminución de arsénico está referido a la reducción de este contaminante de la muestra de agua del afloramiento subterráneo del campamento Cedro, Pataz.		La disminución de Arsénico, será medida por el espectrofotómetro UV.ViS, instrumento que mide la concentración de los metales, será valorada mediante las distintas adsorbancias que se den en los análisis.	Partes por Millón (ppm)	Razón

Fuente: Elaboración propia



## 2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 2.3.1. Población

El afloramiento subterráneo se encuentra ubicado en el campamento de Cedro, en la provincia de Pataz, La Libertad.



**Ilustración 1: Mapa satelital del Campamento Cedro, Provincia de Pataz, La Libertad**

Fuente: Google Earth

### 2.3.2. Muestra

La muestra fue de 50 litros de agua de afloramiento subterráneo ubicado en Cedro, Pataz.

### 2.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue de 500 ml como indica el protocolo de monitoreo para la calidad de los recursos hídricos para arsénico.

## 2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

**Tabla 3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

TÉCNICA	INSTRUMENTOS DE LABORATORIO
Espectrofotometría UV- Vis	Espectrofotómetro UV- Vis CALIBRACIÓN: LABORATORIO DE SEDALIB S.A

	Mallas de tamizado
Granulometría	CALIBRACIÓN: ISO 3310, ASTM E 11, AFNOR, BS 410
Adsorción	Filtro
Medición de longitud	Flexómetro

**Fuente: Elaboración propia**

Todos los instrumentos fueron calibrados antes de ser usados y se consideró utilizar el método ANOVA para el análisis de resultados.

## **2.5. METODOS DE ANALISIS DE DATOS**

### **2.5.1. METODOLOGIA**

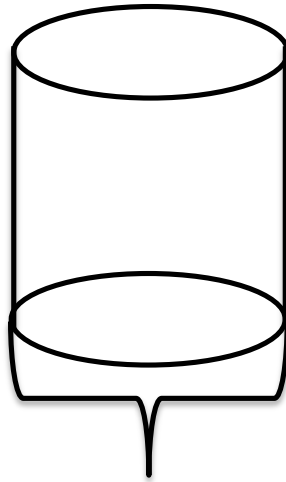
La muestra de agua del afloramiento subterráneo (50 litros) fue enviada por personal de la Cía. Minera Poderosa. Ya con la muestra se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de los parámetros: pH, arsénico, temperatura y turbiedad.

De igual forma, la diatomita fue enviada por personal de la Cía. Minera Poderosa, luego de obtenida se procedió a tratarla como se explica a continuación:

- Lavado de la diatomita con agua destilada para eliminar así las impurezas.
- La diatomita lavada, fue llevada a la estufa a 700°C hasta obtener un peso constante, esto se realizó con la finalidad de eliminar la materia orgánica presente en las diatomeas.
- Luego con la ayuda de un mortero y pilón se procedió a moler la diatomita para obtener granulometrías finas y muy finas.
- Después, con la ayuda de unas mallas de tamiz N° 20, 50 y 70 se tamizó la diatomita para obtener la granulometría deseada.

Una vez lista y debidamente procesada la diatomita, se procedió a fabricar el filtro piloto, el cuál fue construido por un técnico especializado, con las siguientes dimensiones:

Diámetro: Ø 6  
Altura: 40 cm



**Ilustración 2: Dimensiones de filtro de diatomita**

**Fuente: Elaboración propia**

Con la diatomita lista y el filtro construido se comenzó el ensayo de la muestra, siendo rotuladas y correctamente etiquetadas para posteriormente ser llevadas a un laboratorio para el correspondiente análisis de arsénico.

### **2.5.2. MATERIALES**

- Diatomita

#### **PARA ELABORACIÓN DE FILTRO**

- Llaves de ½ PVC
- Teflon
- Pegamento para PVC
- Adaptador de 6"
- Canastilla PCV ducha
- Jebe
- Manguera 1.5 metros
- Reducción de 4x2
- Reducción de 6x4
- Niples contratuerca
- Tapón de 6"
- Papel filtro
- Algodón
- Regadera para ducha.

## **2.6. ASPECTOS ETICOS**

Los datos, fotografías del afloramiento subterráneo en Campamento Cedro, Pataz, y otros aspectos relacionados netamente con la Cía. Minera Poderosa serán reservados para uso únicamente de esta investigación, por políticas propias de la misma. Además, toda información recolectada de otras fuentes de cualquier tipo ha sido citada, respetando la Norma ISO 690, y demás consideraciones de la Universidad Privada César Vallejo.

### III. RESULTADOS

La Tabla 4 contiene los datos obtenidos de la caracterización del agua recolectada del afloramiento subterráneo ubicado en el campamento Cedro – Pataz, los cuales al ser comparados con los Límites Máximos Permisibles del reglamento de agua para consumo humano (D.S. N° 031-2010 S.A.) sobrepasan el parámetro Arsénico y Turbiedad.

**Tabla 4. Caracterización de la muestra de agua del afloramiento subterráneo**

Parámetro	Muestra	LMP*
pH	6.9	6.5-8.5
As (mg/L)	0.15	0.01
T (°C)	23	35
Turbiedad (NTU)	9	5

\* Límites Máximos Permisibles del reglamento de agua para consumo humano

**Fuente: Elaboración propia**

En la Tabla 5 se observa los promedios de los resultados que se consiguieron después de pasar el agua del afloramiento subterráneo por el filtro de diatomita, que tuvo inicialmente 0.15 ppm de arsénico, demostrándose así disminución de Arsénico de todos los experimentos. Cabe mencionar que, cada ensayo contó con tres repeticiones según el diseño de investigación, siendo en total 18 ensayos realizados.

**Tabla 5. Resultados medidos en partes por millón (ppm)**

Altura de lecho	Granulometría	As (ppm)	% de Disminución
10 cm	20	0.01185	92.10%
	50	0.00920	93.87%
	70	0.00790	94.73%
15 cm	20	0.00976	93.49%
	50	0.00572	96.19%
	70	0.00386	97.43%

**Fuente: Laboratorio Sedalib S.A.**

Utilizando el programa IBM SPSS Statistics 23 se consiguió analizar los resultados de la investigación mediante el método estadístico ANOVA. Antes de describir los resultados del Análisis de Varianza, se consideró

verificar algunos requisitos conocidos como Bondad de Ajuste, los cuales se muestran a continuación:

**a. Homogeneidad de varianzas (varianzas iguales):**

Se observa en la Tabla 6, el P- valor (Sig.) resultante de la prueba de Levene fue mayor al nivel de significancia (0.05), indicando así que los resultados fueron obtenidos sobre la base de un muestro aleatorio de una población con varianzas iguales.

**Tabla 6. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error**

F	df1	df2	Sig.
2,927	5	12	,059

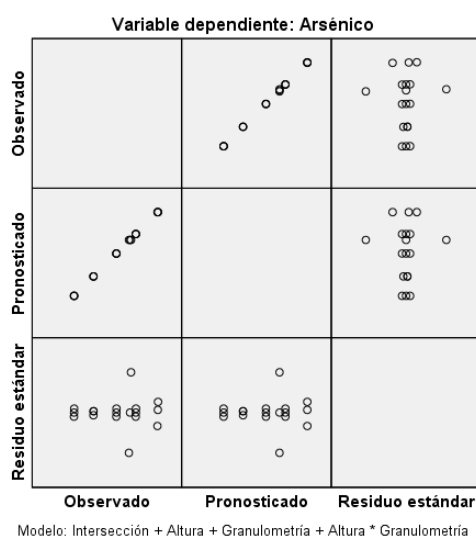
Fuente: IBM SPSS Statistics 23

**b. Las muestras son independientes:**

Se observa en la Figura 1, exactamente en la cuadrícula de Residuo estándar (eje y) con lo Observado y Pronosticado (eje x), donde los puntos se notan dispersos, demostrando así que las muestras son independientes.

**c. La distribución es normal:**

Se observa en la Figura 1, exactamente en la cuadrícula de Pronosticado y Observado (eje y) con lo Observado y Pronosticado (eje x), que los puntos se ubican formando una línea, demostrando así que la distribución es normal.



**Figura 1. Distribución normal**

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

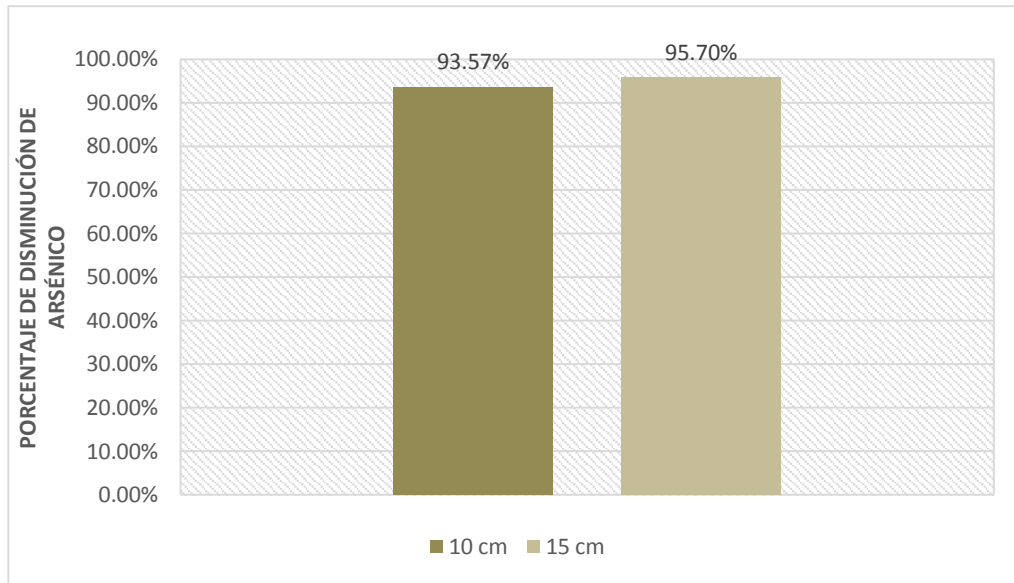
Después de asegurar que se cumple la Bondad de Ajuste, se realizó el análisis de varianza, teniendo como hipótesis nula (H0) que los ensayos realizados son iguales y como hipótesis alternativa (H1) que al menos uno de los ensayos realizados es diferente; es así como se muestra en la Tabla 7, en la cual se observa el P-valor (Sig.) menor al nivel de significancia (0.05), trabajando a un nivel de confianza de 95%, lo que indica que se rechaza la H0, por lo que se afirma que al menos uno de los ensayos fue diferente.

**Tabla 7. Análisis de varianza: ANOVA**

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,000	5	2,504E-5	13335,435	,000
Intersección	,001	1	,001	620926,536	,000
Altura	4,624E-5	1	4,624E-5	24624,926	,000
Granulometría	7,595E-5	2	3,797E-5	20223,115	,000
Altura * Granulometría	3,016E-6	2	1,508E-6	803,009	,000
Error	2,253E-8	12	1,878E-9		
Total	,001	18			
Total corregido	,000	17			

**Fuente: IBM SPSS Statistics 23**

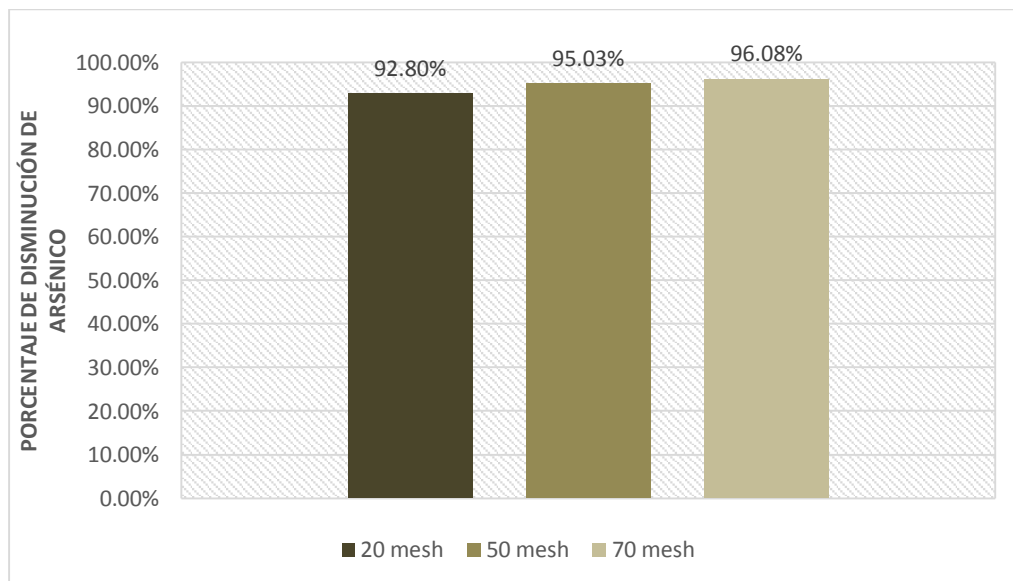
Al saber que al menos uno de los ensayos fue diferente, se procedió a encontrar la mejor condición de cada variable, de acuerdo al diseño de investigación. Es así que la Figura 2 muestra que el mayor porcentaje de disminución de Arsénico fue a una altura de lecho de 15 cm.



**Figura 2. % de remoción con la variable Altura de Lecho**

**Fuente: Elaboración propia**

Por otro lado, en la Figura 3 se muestra que el mayor porcentaje de disminución de Arsénico fue a granulometría de 70 mesh.



**Figura 3. % de remoción con la variable Granulometría**

**Fuente: Elaboración propia**

De igual forma, estadísticamente en la Tabla 8 según el test HSD de Tukey, el test Duncan y la Prueba Scheffé al comparar los tres valores de granulometría de la investigación, coincidieron en elegir la granulometría de 70 mesh.



**Tabla 8. Prueba post hoc para variable Granulometría**

	Granulometría	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey	70 mesh	6	,005880		
	50 mesh	6		,007458	
	20 mesh	6			,01080
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan	70 mesh	6	,005880		
	50 mesh	6		,007458	
	20 mesh	6			,01080
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Scheffe	70 mesh	6	,005880		
	50 mesh	6		,007458	
	20 mesh	6			,01080
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

En la Tabla 9 se aprecia la comparación con los límites máximos permisibles y los ensayos elaborados, en tres repeticiones, en donde se obtuvo que 15 de 18 ensayos cumplen con la normativa al ser mejor 0,01 mg/L.

**Tabla 9. Comparación con los LMP**

ALTURA LECHO	GRANULO METRÍA	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)			Límites Máximos Permisibles
			1	2	3	
10 CM	20	0,15	0,01186	0,01188	0,01182	0,01 mg/L
	50	0,15	0,00910	0,00930	0,00920	0,01 mg/L
	70	0,15	0,00790	0,00789	0,00791	0,01 mg/L
15 CM	20	0,15	0,00976	0,00975	0,00977	0,01 mg/L
	50	0,15	0,00572	0,00571	0,00572	0,01 mg/L
	70	0,15	0,00386	0,00387	0,00385	0,01 mg/L

Fuente: Elaboración propia

#### **IV. DISCUSION**

El uso del filtro de la diatomita para la disminución de arsénico en los resultados obtenidos, coincide con la investigación de Meza Placido (2013), quien utilizó filtros en columna de diatomita natural y diatomita modificada con manganeso para remover Coliformes totales y fecales, y metales pesados como el arsénico de un agua residual domestica a nivel laboratorio.

La Figura 2 indica que los ensayos que fueron realizados con una altura de lecho de 15 cm (mayor altura respecto a la variable altura de lecho) fueron los que consiguieron un mayor porcentaje de disminución de arsénico, en promedio un 95.70% de disminución de arsénico. Este resultado coincide con la investigación de Meza Placido (2013), quien usó dos alturas de lecho de 5 cm y 10 cm, obteniendo como mejor resultado un 99,9% de remoción de arsénico con una altura de lecho de 10 cm con diatomita natural, y un 97,36% de remoción de arsénico con diatomita modificada con Manganeso a la misma altura (mayor altura de su investigación). Por lo que podemos decir que existe un nivel significativo de disminución de arsénico con un filtro de diatomita a una altura de lecho de 15 cm.

La Figura 3 indica que los ensayos que fueron realizados con una granulometría de 70 mesh (mayor N<sup>a</sup> de malla respecto a la variable granulometría) fueron los que consiguieron un mayor porcentaje de disminución de arsénico, en promedio un 96.08% de disminución de arsénico. Este resultado se asemeja con lo presentado por los autores Tamata (2016) y Meza Placido (2013) quienes en sus investigaciones eligieron usar la diatomita a una granulometría muy fina. Es así, que podemos decir que existe un nivel significativo de disminución de arsénico con un filtro de diatomita a una granulometría de 70 mesh.

En general, según la Tabla 5, los filtros estudiados en el presente trabajo, a diferente altura de lecho y granulometría presentan muy buena remoción de arsénico, con valores mínimos promedio de concentración

de 0,01185 ppm lo que representa una remoción del 92,10% y valores máximos promedio de concentración de 0,00386 ppm el cual representa una remoción del 97,43%. Podemos relacionar estos resultados obtenidos con la teoría de Pookmane y otros (2010) que indica que la diatomita gracias a su alta porosidad microscópica, cavidades y canales, el material tiene una gran superficie específica, alta capacidad de adsorción y baja densidad es utilizado para remover metales pesados como el arsénico.

Según la Tabla 9, se observa que de los resultados obtenidos de arsénico 15 de 18 ensayos cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), obteniéndose la mayor remoción con un filtro de diatomita de 15 cm de altura de lecho y 70 mesh de granulometría, permitiendo obtener hasta 0,00386 ppm de arsénico y alcanzar una disminución del 97,43%.

## V. CONCLUSIONES

1. Respecto a las diferentes alturas de lecho, la que demostró un nivel significativo de disminución de arsénico de la muestra con un 95.70%, fue la altura de lecho de 15 cm.
2. De igual forma, de las diferentes granulometrías, la que demostró un nivel significativo de disminución de arsénico de la muestra con un 96.08%, fue la granulometría de 70 mesh.
3. Es así que se concluye que existe un nivel significativo de disminución de arsénico, mediante el uso de un filtro de diatomita a 15 cm de altura de lecho y granulometría de 70 mesh, a nivel laboratorio, del agua obtenida del afloramiento subterráneo en el Campamento Cedro-Pataz.
4. Se concluye además que el ensayo que tuvo estas condiciones, consiguió disminuir hasta 0.00386 ppm de Arsénico, cumpliendo así el Límite Máximo Permisible para este parámetro (0,01 ppm) y de igual forma, logrando cumplir con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (D.S. 015-2015 MINAN).

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda ampliar la investigación evaluando el proceso de desorción de arsénico en las diatomeas.
- Se recomienda realizar investigaciones sobre la remoción de Coliformes totales y fecales mediante el uso de diatomita para potabilizar el agua.

## VII. REFERENCIAS

- Decreto Supremo N° 031–2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Ministerio de Salud, Lima, febrero de 2011.
- EL FINANCIERO. ¿Cuándo se acabará el agua subterránea de la Tierra? Un mapa lo dice. [en línea]. 2015. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/after-office/cuando-se-acabara-el-agua-subterranea-de-la-tierra-un-mapa-lo-dice.html>.
- FLANAGAN, JOHNSTON y ZHENG. Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bull World Health Organ*, (90): 74. 2012.
- GEORGE, Christine Marie; SIMA, Laura; JAHUIRA ARIAS, Helena; MIHALIC, Jana; CABRERA, Lilia; DANZ, David; CHECKLEY, William y GILMAN, Robert. Exposición al arsénico en el agua potable: una gran amenaza inadvertida para la salud en Perú [en línea]. 2014. Disponible en: <http://www.who.int/bulletin/volumes/92/8/13-128496-ab/es/>.
- HOSSAM, M. Diatomite: Its characterization, modifications and applications. Department of chemistry, Faculty of science, Suez Canal University, Ismailia, Egipto. 2010, p.125
- HUERTAS, David. Diatomita, que es y cuáles son sus principales usos. [en línea]. 2011. Disponible en: <http://davidhuerta.typepad.com/blog/2010/10/diatomita-que-es-y-cuales-son-sus-principales-usos.html>.
- J-H, Ha; BAE, Byungseo y SONG, In-Hyuck. Effect of pore characteristics on permeability of sintered diatomite filter for microfiltration. *Advances in Applied Ceramic*, (114): 157.
- KURNIAWAN, T. Physico – chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, (118): 83–98.

- MAYORGA MORENO, Paloma. Arsénico en aguas subterráneas su transferencia al suelo y a la planta. Tesis (Grado de Doctora). España: Universidad de Valladolid.
- MEZA BAZÁN, Placido. Remoción De Coliformes Y Metales en Aguas Residuales Mediante Diatomeas. Tesis (Ingeniero Civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2013. 30-49p.
- Pookmanee, P., Thippraphan, P., & Phanichphant, S. (2010). Manganese chloride modification of natural diatomite by using hydrothermal method. *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 24(2), 99–102.
- MORENO, Rafael y CERVANTES, Carlos. Contaminación ambiental por metales pesados: impacto en los seres vivos. 1ª. Ed. México: AGT, 1999. 232p.
- NERI FLORES, Iris. Agua subterránea: el agua que no vemos. [en línea]. 2009. Disponible en: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol22num1/articulos/agua/>
- PANTOJA, JONES, GARELICK, MOHAMEDBAKR y BURKITBAYEV. The removal of arsenate from water using iron-modified diatomite (D-Fe): isotherm and column experiments. *Environ Sci Pollut Res*, (21): 495–506.
- ROJAS TAMATA, Karen. Remoción de arsénico (V) y cromo (VI) presente en lechos acuáticos mediante el uso de tierra de diatomeas recubierta con sales de hierro, Arequipa 2016. Tesis (Maestro en Química del Medio Ambiente). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2016. 1 p.
- Danil de Namor AF, El Gamouz A, Frangie S, Martinez V, Valiente L, Webb OA. Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite. A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals

from water. *J Hazard Mater* [En Linea]. Elsevier B.V.; 2012;241-242:14–31.  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.09.030>

- RUIZ SÁNCHEZ, Clara Isabel. Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia San Isidro del Cantón Guano. Tesis (Ingeniero Químico). Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2013. 62 p.
- TEJADA-TOVAR, Candelaria; VILLABONA-ORTIZ Ángel y GARCÉS-JARABA, Luz. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, (18): 109-123. 2015



## VIII. ANEXOS

### ANEXO N° 01. DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

#### ANEXO III

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico ( <b>nota 1</b> )	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro ( <b>nota 2</b> )	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

**ANEXO 02. RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO  
(SEDALIB S.A.)**

**RESULTADOS DE ARSÉNICO MUESTRAS CODIGO D6**

(19 Muestras)

FECHA DE INGRESO: 14 /11 /2016

HORA: 9: 00 am

FECHA DE ENTREGA: 16/11/2016

FRASCOS DE PLÁSTICO 0.5 L

ITEM	CODIGO	mg As/L	ABS	LMP
1	D6-01	0,01186	0.2316	0.01
2	D6-02	0,01188	0.2318	
3	D6-03	0,01182	0.2314	
4	D6-04	0,0091	0.1854	
5	D6-05	0,0093	0.1856	
6	D6-06	0,0092	0.1855	
7	D6-07	0,00790	0.1629	
8	D6-08	0,00789	0.1628	
9	D6-09	0,00791	0.163	
10	D6-10	0,00976	0.1968	
11	D6-11	0,00975	0.1965	
12	D6-12	0,00977	0.1966	
13	D6-13	0,00572	0.18	
14	D6-14	0,00571	0.178	
15	D6-15	0,00572	0.18	
16	D6-16	0,00386	0.0848	
17	D6-17	0,00387	0.0849	
18	D6-18	0,00385	0.0847	
19	MC 0.01 mg/L	0.01524	0.2818	

Atentamente:

  
César Ayedo Castillo  
ING. QUÍMICO  
R.C.P. 1202

## ANEXO 03. PANEL FOTOGRÁFICO

Ilustración 3: Diatomita natural



#### Ilustración 4: Molido de Diatomita



**Ilustración 5: Calcinado de diatomita**



**Ilustración 6. Tamizado de diatomita**





### Ilustración 7: Prueba del filtro

