



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)**

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

[http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



## INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo título es:

**ESTUDIO PARA LA REMOCION DE ARSENICO EN EL TRATAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE AGUAS CON EL EMPLEO DE ZEOLITAS NATURALES**

presentado por:

**Phiero Alexander Tipismana Chávez  
Anny Andrea Palomino Zapata**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **13.65%** otorgándosele el calificativo de:


**APROBADO**


Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

El trabajo fue **APROBADO** con un **13.7 %** de coincidencias.

Ica, **21 de Septiembre de 2020**

  
**SANTOS HÚMBERTO OLIVERA MACHADO**  
**COORDINADOR**  
**SOFTWARE ANTIPLAGIO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y**  
**PETROQUIMICA**

  
**RAUL GERARDO AVILA MEZA**  
**ASESOR**  
**SOFTWARE ANTIPLAGIO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y**  
**PETROQUIMICA**

# **FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA**

**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**“ESTUDIO PARA LA REMOCION DE ARSENICO EN EL  
TRATAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE AGUAS CON EL EMPLEO  
DE ZEOLITAS NATURALES”**

**BORRADOR DE TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUIMICO**

**AUTOR:**

PALOMINO ZAPATA, ANNY ANDREA.

TIPISMANA CHAVEZ, PHIERO ALEXANDER.

**ASESOR:**

DR. FERNANDO EDUARDO, CANO LEGUA.

**ICA – PERU**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Si bien hemos puesto mucha dedicación en nuestro trabajo de tesis, no habiéramos alcanzado nuestro objetivo sin la cooperación de todas nuestras amistades y familiares, que estuvieron acompañándonos en el trayecto de este trabajo, el cual fueron un apoyo muy animoso en momentos de ansiedad y angustia, primero y antes que todo, agradecer a dios, por acompañarnos en cada paso que dimos, por darnos salud, sabiduría y por habernos brindado la compañía de aquellas personas que nos ofrecieron su ayuda en el transcurso de todo el ciclo de estudio, así también como a todos los docentes, que con ayuda de su extensa experiencia y conocimientos nos orientaron a conseguir nuestros propios logros y por ende a la culminación con éxito de nuestra carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nos satisface agradecer en estas líneas la colaboración que muchas personas compañeros y colegas, nos han brindado durante todo el trayecto de investigación y redacción de nuestro plan de trabajo. Antes que nada, agradecer a nuestros padres que nos brindaron el apoyo necesario para poder cumplir todos nuestros anhelos profesionales, a nuestro asesor, Dr. Cano Legua, por haber estado presente en cada circunstancia que requerimos de sus consejos.

Asimismo, agradecer infinitamente a nuestros hermanos por estar perennemente a nuestro lado y enseñarnos a levantarnos en cada tropiezo que dimos, para así poder aprender cosas nuevas cada día.

Finalmente, a la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica, por ser la base de toda nuestra formación profesional.

## RESUMEN

Para la explicación de nuestra tesis de Investigación, hemos ido desarrollando teniendo en cuenta algunas referencias sobre las contaminaciones de los diversos tipos de aguas, ya sea de aguas procedentes de lluvias, aguas subterráneas, aguas de minas, aguas de ríos, aguas de filtraciones, entre otros; esencialmente todo tipo de agua que cuente con arsénico, el cual es perjudicial para la salud del ser humano, provocando distintas enfermedades.

En el presente estudio se empleará un método adsorbente que conste de zeolita natural como, clinoptilolita, que se encuentra revestida con óxidos de hierro, a partir de cloruro férrico, para retirar o remover el arsénico en las distintas clases de agua, siendo el agua natural, el más común. La presencia de los óxidos de hierro en la superficie de este material filtrante, suele ser un medio de contacto, práctico para remover este elemento dañino para la salud, arsénico.

Se ha llevado a cabo dos etapas, la primera, se preparó una solución con una concentración de 1 000 ppm de contenido de arsénico, resultando así 7 ppm, poniendo en práctica el medio de filtración atómica, tratado con zeolita sintética.

Igualmente, realizaron la segunda etapa, con concentraciones iniciales de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L según corresponda, filtrándolo luego, con una capa de zeolita natural, arena activada y carbón activado, logrando así un resultado de 2 a 3 ppm de contenido de arsénico, también realizada por medio de espectrofotometría de filtración atómica.

# INDICE

## INTRODUCCION

### CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

- 1.1. Situación problemática.
- 1.2. El problema de investigación.
  - 1.2.1. Problema general.
  - 1.2.2. Problemas específicos.
- 1.3. Hipótesis de investigación.
  - 1.3.1. Hipótesis general.
  - 1.3.2. Hipótesis secundarias.
- 1.4. Objetivos de la investigación.
  - 1.4.1. Objetivo general.
  - 1.4.2. Objetivos específicos.
- 1.5. Justificación e importancia de la investigación.

### CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

- 2.1. Antecedentes.
- 2.2. Bases teóricas.
  - 2.2.1. Arsénico.
    - 2.2.1.1. Propiedades y estado natural.
    - 2.2.1.2. Consecuencias del arsénico relacionadas con la salud.
    - 2.2.1.3. Efectos Ambientales del arsénico.
    - 2.2.1.4. Efectos contaminantes en alimentos del arsénico.

## **2.2.2. Técnicas para la remoción del arsénico.**

- 2.2.2.1. Alúmina activada.**
- 2.2.2.2. Coagulación - filtración.**
- 2.2.2.3. Osmosis inversa.**
- 2.2.2.4. Intercambio iónico.**
- 2.2.2.5. Ablandamiento con cal.**
- 2.2.2.6. Aplicación de aire y luz solar.**
- 2.2.2.7. Aplicando electro tratamiento.**

## **2.2.3. Zeolitas.**

- 2.2.3.1. Desarrollo histórico de la zeolita.**
- 2.2.3.2. Descripción de las zeolitas naturales.**
- 2.2.3.3. Clasificación de las zeolitas en base a sus formas.**
- 2.2.3.4. Metalurgia de minerales no metálicos: Zeolitas.**
- 2.2.3.5. Clasificación de las zeolitas según el tamaño de poros.**
- 2.2.3.6. Aplicación de las zeolitas como agentes adsorbentes.**

## **2.2.4. Contenido de arsénico en el agua.**

- 2.2.4.1. Contenido de arsénico presentes en aguas subterráneas.**
- 2.2.4.2. Contenido de arsénico presentes en aguas superficiales.**
- 2.2.4.3. Consecuencias de arsénico para el consumo del agua.**
- 2.2.4.4. Límites permisibles de arsénico presentes en el agua.**
- 2.2.4.5. Situación a nivel mundial.**

## **2.2.5. Mineralogía. (Zeolita)**

- 2.2.5.1. Método de minado.**
- 2.2.5.2. Procesamiento.**
- 2.2.5.3. Usos.**

## **2.3. Marco conceptual.**

## **CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL**

- 3.1.** Tipo y nivel de investigación.
- 3.2.** Población y muestra de investigación.
- 3.3.** Variables e indicadores.
- 3.4.** Técnicas e instrumentos de recolección de investigación.
- 3.5.** Técnicas de procesamiento y análisis de resultados.
- 3.6.** Método de investigación.
  - 3.6.1.** Diseño del método de investigación.
  - 3.6.2.** Métodos y procedimientos.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS**

- 4.1.** Resultados.
- 4.2.** Análisis y discusión de resultados.

## **CAPITULO V: PRUEBA DE HIPOTESIS**

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **FUENTES DE INFORMACION**

### **ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Matriz de operacionalización.

Anexo 3: Presupuesto.

Anexo 4: Cronograma de actividades

## INTRODUCCION

El arsénico (As), que está vigente en aguas determinadas para el consumo humano, frecuente ser una problemática reconocida en diversas partes del mundo. Este es un elemento natural, situada en la corteza terrestre que se establece en el agua por medio de técnicas de meteorización química o también por disipación de minerales. Usualmente, también suele estar presente por medio de contaminación antrópica, debido a funciones como la minería o el uso de plaguicidas. Por otra parte, las zeolitas son aluminosilicatos hidratados muy cristalinos, donde su configuración se basa en una red tridimensional de tetraedros de  $\text{SiO}_4$ . Los cationes alcalinos y alcalinotérreos suelen estar unidos débilmente dentro de esta estructura y pueden ser intercambiadas por otros cationes o moléculas de agua.

La ingestión del agua contaminada, por este elemento arsénico, puede ocasionar lesiones cutáneas características, principalmente como alteraciones de la pigmentación. Algunos estudios dan a conocer que el arsénico inorgánico se vincula con cáncer de piel y de órganos internos cuando este es ingerido, también suele provocar enfermedades cardiovasculares y neurológicas. Las fuentes naturales incluyen la lixiviación de minerales que tienen arsénico, que perjudica esencialmente a las aguas subterráneas, donde las tecnologías más usuales para la remoción de este elemento son: intercambio iónico, coagulación-filtración, adsorción en alamina activada y osmosis inversa, entre otros.

Como consecuencia aún está el interés por el crecimiento de nuevos procesos para remover el arsénico presente en aguas naturales, que sean aptos a las limitaciones de nuestra región y país. Los óxidos de hierro suelen ser adsorbentes muy buenos de una muy alta variedad de especies químicas, incorporando iones metálicos, aniones inorgánicos y determinados compuestos orgánicos.

La problemática principal para el uso de óxidos de hierro puros en polvo para eliminar arsénico, está vinculada a la dificultad de distinguir estos óxidos de hierro saturados con arsénico de la fase acuosa y la regeneración o disposición de los lodos resultantes.

Por otro parte, la zeolita con sus distintas propiedades de intercambio de cationes puede resultar ser un magnifico soporte del recubrimiento de óxidos de hierro, por consiguiente, se ha considerado este mineral no metálico (zeolita clinoptilolita), para nuestra experiencia en nuestro plan de trabajo, el cual es netamente necesario para la remoción o supresión del arsénico en distintas clases de aguas, y así poder evitar cualquier enfermedad que sea dañina para la salud.

# **CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION**

## **1.1. Situación problemática.**

En el Perú las industrias de procesamiento de agua que están encargadas de abastecer a las diversas comunidades incluyendo nuestra región , manejan diferentes procedimientos de tratado para cumplir con las normativa de calidad de agua nacionales, aquellas normas implican que las aguas pasen por rigurosos análisis los cuales indicaran diversas características en la composición de la mencionada agua así como la presencia en determinadas cantidades , de ciertos componentes como metales , sales , coliformes, entre otros.

El volumen de arsénico en las causas de distribución de agua, es indeseable, a causa de sus efectos dañinos para la salud, no solo de las personas, sino también de los animales y nuestro ecosistema, es por ello que es una necesidad buscar alternativas viables que puedan disminuir o remover, en su totalidad, este metal tan perjudicial.

Por estas razones el presente estudio, se justifica en un método adsorbente, empleando la zeolita natural (clinoptilolita, entre otros) y se encuentra revestida con óxidos de hierro, a partir de cloruro férrico, para remover este elemento en las distintas aguas, esencialmente en las aguas naturales. La adherencia de los óxidos de hierro en la superficie de dicho material filtrante, resulta un medio de contacto práctico para eliminar el arsénico, que junta las ventajas de un filtro habitual con las de un medio adsorbente, otorgando así un tratamiento constante, de bajo economía y parcialmente factible de operar y a la vez pueda mejorar los procedimientos de tratamiento convencionales.

## **1.2. El problema de investigación.**

### **1.2.1. Problema general.**

- ¿Podrá desarrollarse una tecnología para la remoción de arsénico mediante el empleo de zeolitas naturales?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿De qué forma se acondicionará la zeolita natural para que adquiera una buena capacidad de adsorción del arsénico?
- ¿Cuáles son los parámetros óptimos del proceso en donde la zeolita natural remueva el arsénico del agua?
- ¿Existirá algún método para regenerar la zeolita natural y volver a emplearla?

## **1.3. Hipótesis de la investigación.**

### **1.3.1. Hipótesis general.**

- El empleo de las zeolitas naturales en las distintas clases de aguas, si remueven el contenido de arsénico.

### **1.3.2. Hipótesis secundarias.**

- Las zeolitas naturales requieren de un acondicionamiento correcto para que posean una favorable capacidad de captación del arsénico.
- Las zeolitas naturales requieren de parámetros óptimos de proceso para que puedan remover el arsénico.
- Una vez empleadas las zeolitas naturales para la remoción del arsénico en las distintas clases de agua pueden aplicarse métodos para regeneraras y reutilizarlas.

## **1.4. Objetivos de la investigación.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

- Remover el contenido de arsénico en distintos tipos de aguas con el empleo de zeolita natural.

### **1.4.2. Objetivo Específicos.**

- Realizar el acondicionamiento para que la zeolita natural posea una favorable capacidad de adsorción del arsénico.
- Determinar los parámetros óptimos del proceso en donde la zeolita natural remueva el arsénico del agua.
- Determinar un método alternativo para regenerar la zeolita natural y volver a emplearla.

## **1.5. Justificación e importancia de la investigación.**

El arsénico es un elemento y/o componente excesivamente dañino para el consumo humano. La exposición a concentraciones altas suele causar consecuencias que pueden ser perjudicial, por otro parte, la exposición durante un extenso ciclo a bajas concentraciones relativas de arsénico (por ejemplo, por consumir agua) tiene efectos nocivos para la salud, así también cuando ocurre con el problema del agua en las distintas poblaciones de nuestro territorio peruano, las cuales se abastecen de esta agua ,para su consumo, proveniente de las industrias de cura de aguas con cantidades de arsénico, a veces permisibles pero dañinas a largo plazo.

El número de arsénico hallado en diversos lugares del Perú supera largamente lo permitido por las normativas internacionales para fuentes de agua de uso doméstico. Por lo cual se desarrollará la tecnología de remoción del arsénico, mediante la zeolita natural, de modo que se tenga en consideración en distintas plantas de tratamientos de aguas.

En cuanto al desarrollo en la industria química se propone una mejora en el aprovechamiento del agua libre de arsénico, para poder evitar problemas de contaminación en su producto final, sobre todo en las industrias designadas a la producción de alimentos.

El presente estudio se justifica desde el punto de vista científico, porque permitirá el aprovechamiento del método de remoción del arsénico, utilizando la zeolita natural. Mientras que, en el punto de vista técnico, nos facilita estudios de diferentes tecnologías para remover el arsénico de las distintas clases de aguas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes.

#### A NIVEL NACIONAL

- La contaminación en el Perú se va incrementando rápidamente, trayendo como consecuencia la contaminación de nuestro medio ambiente, además de los diversos orígenes de agua como son, natural, potable, tratada y abastecida por distintas industrias prestadoras de servicio en el país, el cual también reporta niveles de arsénico muy elevados. En el año 2004, el reporte de los estudios de la condición del agua potable en las compañías de agua del Perú entre 1995 y 2003 señalaba que cinco de las doce empresas prestadoras a nivel nacional exhibieron concentraciones de arsénico promedio superiores a los 10 µg/L como son los siguientes: SEDAPAL, SEDAPAR, SEDAJULIACA, EPS Ilo y EPS Tacna, el cual se encuentran ubicadas en Lima, Arequipa, Juliaca, Ilo y Tacna respectivamente. Es por ello, que cuatro de aquellas empresas están ubicadas en los departamentos del sur de nuestro país. Informe técnico de la “Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento” (SUNASS), (2004). *Estudios de la condición del agua potable en las distintas compañías prestadoras del Perú.*
- Existen formas convencionales y no convencionales para la remoción del arsénico en distintas aguas que presentan contaminación. Los métodos no convencionales suelen mostrar una amplia disposición de adsorción de arsénico, por ello se considera que los adsorbentes con mayor presencia de óxido de hierro y óxido de manganeso, nos señalara una amplia capacidad de adsorción de este elemento.

En la valoración de las variables más influyentes de la adsorción de arsénico, se alcanzaron condiciones positivas, por ejemplo, el tiempo de contacto que fue de 70 min, la cantidad de adsorbente 0.2 g; pH 7.5 y una temperatura de 25 °C. Tapia, (2017). *Estimación de arsénico con Chacko (Hidralgirita) en diversas aguas subterráneas contaminadas en Taraco – Puno.*

- En el sector sur del Perú, suelen haber áreas semidesérticas, lo cual el pueblo ingiere agua de diversos ríos que se forman en los Andes y circulan en dirección al Océano Pacífico. Se ha encontrado existencia de arsénico en varios ríos, por ejemplo, el río Locumba que contiene 0.5 g/L de arsénico, que recorre Puno y Moquegua (Valle de Ilo), donde los habitantes expuestos a este componente perjudicial para la salud son alrededor de 250 mil habitantes. Castro de Esparza (2006), *Consecuencias de las aguas excedentes en el Perú.*

## **A NIVEL INTERNACIONAL**

- El arsénico que está presente en aguas superficiales y subterráneas es captado para el suministro de pobladores y por ende uno de los usos más usuales y alarmante es la del consumo humano; indicando una concentración elevada de dichas especies químicas, una sucesión de efectos fatales para la salud, vinculados principalmente al contacto continuo, causando un envenenamiento progresivo que da inicio a una enfermedad más conocida como hidroarsenicismo crónico. Diversos estudios epidemiológicos han confirmado que la exposición crónica de este elemento, se vincula con un incremento de esta enfermedad, lo cual sus síntomas suelen empezar con problemas de hipertensión, diabetes mellitus, deficiencias respiratorias, cardiovasculares, efectos gastrointestinales y alteración del sistema nervioso, indican que en etapas avanzadas de intoxicación se aprecian, heridas en la piel que suelen causar

hiperpigmentación, hiperqueratosis, gangrena, que terminan normalmente con cáncer de piel, como por ejemplo, cáncer de pulmón, colon, hígado y vejiga, que finalmente conllevan a dañar nuestro sistema e incluso causando la muerte. Van Halem, (2009). *Estudios epidemiológicos sobre hidroarsenicismo crónico*.

- Bajo condiciones anóxicas, a un pH superior de 7 el arsénico se establece en grupos dominantes no iónicas. Los arsenatos y arsenitos se descomponen a un pH bastante desigual. Las figuras sobresalientes de arsenato y arsenitos, en un rango de pH entre 6,5 y 8,5 característico del agua natural, son:  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ;  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ; y  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ . Letterman Raymond, (2002). *Condición y tratamiento del agua - Manual de distribución de agua social*.
- Tanto en las aguas superficiales, como subterráneas, el arsénico comúnmente se halla en estado de oxidación +5 (arsenato) y +3 (arsenito). En caso de las aguas superficiales con una elevada presencia de oxígeno, la categoría que es muy frecuente suele ser el arsénico pentavalente o arsenato ( $\text{As}^{+5}$ ). En cuanto a las circunstancias de reducción, usualmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, prevalece el arsénico trivalente o arsenito ( $\text{As}^{+3}$ ). El arsénico trivalente se halla en solución como  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  y  $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$  en distintas aguas naturales con un rango de pH entre 5 a 9. El arsenato se halla en forma permanente en aguas con altos grados de oxígeno, por ejemplo,  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  con un rango de pH de 2 a 13. Los microbios, plantas y animales pueden transformar todas estas composiciones químicas de arsénico inorgánicos a orgánicos, siempre y cuando, compartan átomos de oxígeno e hidrógeno. Crites Tchobanoglous Ron, (2001). *Cura de Aguas Residuales*.

## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1. Arsénico.

#### 2.2.1.1. Propiedades y estado natural.

El arsénico, elemento químico que está en la tabla periódica, su símbolo es As, tiene como número atómico el 33, proviene del griego arsenikon se puede encontrar esparcidas ampliamente en el medio ambiente (alrededor de  $5 \times 10^{-4}$  % de la corteza terrestre); también en diferentes formas, ampliamente presente en todo el ecosistema, raramente en estado sólido, por ejemplo, pueden encontrarse en la atmósfera, el agua y la tierra en varios países. Pertenece a los metaloides, se sabe de compuestos de arsénico desde los principios de la existencia del ser humano, aunque su estado inorgánico es muy tóxico y esencialmente en aspecto de sulfuros. Existen tres estados alotrópicos o modificaciones poliméricas del arsénico:

- **El arsénico gris o metálico (forma  $\alpha$ ):** Su forma estable se encuentra en condiciones normales y está compuesta de una estructura romboédrica, se define por su alto nivel de conductividad de calor, también por su bajo nivel de conductividad eléctrica, su densidad es de  $5,74 \text{ g/cm}^3$ , es frágil y se deteriora el lustre metálico cuando se encuentra exhibido al aire.
- **El arsénico amarillo (forma  $\gamma$ ):** Se consigue cuando el vapor de arsénico se enfría aceleradamente. Es extremadamente ligero y más reactivo que el arsénico gris o metálico y exhibe fosforescencia a temperatura ambiente.

- **Una tercera forma alotrópica, el arsénico negro (forma  $\beta$ ):** Su estructura es hexagonal, no metálica y se consigue cuando el vapor de arsénico se enfría aceleradamente. Es extremadamente ligero y más reactivo que el arsénico gris o metálico, en el contiene fosforescencia a temperatura ambiente.

Todas las formas alotrópicas a excepción del arsénico gris de apariencia metálica, no tiene lustre metálico y poseen un bajo nivel de conductividad eléctrica por lo que el elemento actuara como metal o no metal dependiendo de su función.

Encontramos el arsénico en estado natural como mineral de cobalto, sin embargo, habitualmente, están localizadas en las superficies de las rocas fusionado con azufre o metales como sulfuros polimetálicos agrupadas con los siguientes elementos: Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.

<b>Información general</b>	
<b>Nombre, símbolo, numero:</b>	Arsénico, As, 33
<b>Densidad:</b>	5727 kg/m <sup>3</sup>
<b>Apariencia:</b>	Gris metálico.
<b>Estructura cristalina:</b>	Romboédrica
<b>Estado ordinario:</b>	Sólido
<b>Punto de fusión:</b>	887 °K
<b>Punto de ebullición:</b>	1090 °K
<b>Entalpia de vaporización:</b>	369,9 kJ/mol
<b>Entalpia de fusión:</b>	34,76 kJ/mol

**Cuadro N°1:** Características generales del arsénico.

El esencial mineral del arsénico es el  $\text{FeAsS}$  (Arsenopirita); otros arseniuros metálicos son los minerales  $\text{FeAs}_2$  (Iolingita),  $\text{NiAs}$  (nicolita),  $\text{CoAsS}$  (cobalto brillante),  $\text{NiAsS}$  (gersdorffita) y  $\text{CoAs}_2$  (esmaltita). Los arseniatos y tioarseniatos naturales son usuales y la mayoría de los minerales de sulfuro abarcan arsénico.

Químicamente el arsénico está situado en medio de los metales y los no metales. Sus propiedades son basadas a su situación en el interior del grupo al que pertenece (nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto). El arsénico está posicionado en el lugar 52, en abundancia, entre los elementos naturales de la corteza terrestre. En el caso que llegue a altas temperaturas, se sublima, conduciendo en forma directa de sólido a gas a  $613^\circ \text{C}$ .

Se sabe de la existencia del arsénico desde los inicios. El elemento puro puede formarse sencillamente calentando un mineral usual de nombre arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ). Otros minerales usuales son el rejalgar ( $\text{As}_2\text{S}_2$ ); el oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ); y el trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ).

Durante la fundición de la calcina de cobre en los hornos reverberos se producen las escorias, donde es removido en forma de impurezas formando el arsénico, los arseniuros que flota en la superficie de la mata de cobre tiene que ser escorificado, descartado como impureza del cobre. El arsénico presente durante la refinación del zinc, también suele tener dificultades, polarizando el proceso electrolítico, produciendo así una redisolución del depósito del zinc del cátodo, reduciendo así la elaboración del metal.

### **2.2.1.2. Consecuencias del arsénico relacionados con la salud.**

El Arsénico se considera un elemento de los más nocivos que pueden ser hallados. A causa de sus consecuencias perjudiciales, los enlaces de arsénico inorgánico suceden en la tierra sencillamente en diminutas porciones. Los humanos puede que estén expuestos al Arsénico por medio de los alimentos, agua y aire. La exposición también puede ocurrir por el roce de la piel con el suelo o agua que tenga presente el arsénico.

Los niveles de arsénico que se localizan en los alimentos son muy pocos, no es agregado porque puede ser toxico, pero los niveles de arsénico en peces y mariscos puede ser muy elevada, ya que los peces ingieren arsénico del agua donde viven. Por fortuna esto es principalmente la forma de arsénico orgánico menos perjudicial, sin embargo, los peces que contienen muchas cantidades de arsénico inorgánico pueden ser nocivos para la salud humana.

La exhibición al arsénico puede ser más elevada para las personas que laboran con este elemento, para gente que ingiere enormes proporciones de vino, para personas que viven en casas en donde tienen conservantes de la madera y personas que viven en granjas donde este elemento se encuentra en los pesticidas que han sido aplicados en el pasado. La exhibición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos en la salud, como:

- Escozor del estómago e intestinos.
- Descenso en la elaboración de glóbulos rojos y blancos.
- Cambios en la piel.
- Irritación de los pulmones.

Cabe mencionar que el consumir enormes cantidades de arsénico inorgánico aumenta las posibilidades de desarrollar la enfermedad de cáncer, principalmente en la piel, pulmón y hígado.

También a exhibiciones demasiado elevadas de arsénico inorgánico puede ocasionar infertilidad y abortos, puede ocasionar alteración de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, alteración en el corazón y contusión cerebral en hombres y mujeres.

Como último dato, el arsénico inorgánico puede deteriorar el ADN. El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni mucho menos deterioro al ADN. Pero exhibiciones a cantidades prominentes puede ocasionar algunas consecuencias sobre la salud humana, como laceración de nervios y dolores de estómago.

Las vías de entrada del arsénico en el organismo humano son las siguientes:

- ❖ **Vía gastrointestinal:** Es la más valiosa. El arsénico orgánico (no dañino), que está en los alimentos, se sorbe mejor a través del tracto gastrointestinal que el arsénico inorgánico, presente en el agua.
  
- ❖ **Vía respiratoria:** Inhalación del arsénico que se halla en polvo o humo industrial.
  
- ❖ **Vía cutánea:** (No se absorbe por la piel) la absorción cutánea es baja. Desarrollar tareas habituales como: lavar frutas y verduras, lavar la ropa, baño en piscinas, higiene corporal (incluido el cepillado de dientes) con aguas ricas en arsénico, no daña la salud humana.

### **2.2.1.3. Efectos ambientales del arsénico.**

El arsénico puede hallarse naturalmente en la tierra, en pequeñas concentraciones. Esto sucede en el suelo y minerales y puede penetrar en el aire, agua y tierra por medio de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía. El arsénico es un componente que es demasiado duro de convertir en productos salubre en agua o volátil.

En realidad, el arsénico es básicamente móvil, significa que grandes concentraciones quizás no se encuentran en un lugar determinado. Diríamos que es bueno, pero lo negativo es que la contaminación por arsénico logra ser un tema amplio debido a su dispersión. El arsénico no se moviliza de forma fácil cuando este es inmóvil. Debido a las labores humanas, principalmente por medio de la minería y las fundiciones, habitualmente el arsénico inmóvil se ha movilizó también y puede incluso ahora ser encontrado en distintos lugares, donde ellos no solían estar presentes en su estado natural.

El periodo del arsénico ha sido aumentado como resultado de la interrupción humana y a causa de esto, enormes sumas de Arsénico acaban en el Ambiente y en organismos vivos.

El Arsénico es mayoritariamente generado por las industrias que producen cobre, pero también en el proceso de elaboración de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser eliminado una vez haya entrado en el ambiente, así que las sumas que hemos agregado pueden expandirse y ocasionar consecuencias en la salud de los humanos y los animales en muchos lugares sobre la tierra.

Las plantas atraen arsénico muy sencillamente, así que unos elevados rangos de concentraciones pueden estar en la comida. Las concentraciones de arsénico inorgánico, que está actualmente presente en aguas superficiales, elevan las posibilidades de modificar el material genético de los peces.

Esto es especialmente ocasionado por el montón de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves ingieren peces que tienen numerosas porciones de arsénico y morirán de intoxicación debido al arsénico, como resultado de la descomposición de los peces en sus organismos.

#### **2.2.1.4. Efectos contaminantes en alimentos del arsénico.**

En el asunto del arsénico revelaron que casi un millón de individuos beben agua contaminada con más de 50 microgramos por litro, cuando el límite máximo son 10. El arsénico puede hallarse en alimentos como:

- Los alimentos marinos, especialmente en bivalvos [almejas, ostiones, mejillones], crustáceos [cangrejos, Langostas], y en algunos peces de aguas frías que buscan comida en el fondo marino, así como en algas marinas.
- Las formas orgánicas de arsénico que están en la comida marina (especialmente la arsenobetaina y la arsenocolina, también distinguidas como "arsénico de los peces") mayormente se consideran no dañinas, y se excretan en la orina 48 horas luego de haber sido ingeridas.

- Sin embargo, se han hallado distintas clases de arsénico inorgánico en algunos tipos de algas. Existen referencias actuales de la existencia de altos niveles de arsénico inorgánico (MMA) en las algas hijiki.

## **2.2.2. Técnicas para la remoción del arsénico.**

### **2.2.2.1. Alúmina activada.**

Es un tipo de cambio iónico. Los iones que estas presentes en el agua son absorbidas por la superficie oxidada de la alúmina activa.

Es altamente selectiva para retirar el  $As^{+5}$  y ecuánime para tratar el agua con alta capacidad de solidos diluidos totales. En la superficie de adsorción de la alúmina activada puede cruzarse el selenio, fluoruro, cloruro y sulfato. Este método tiene gran remoción de arsénico a pH 8.2.

### **2.2.2.2. Coagulación-filtración.**

Es un desarrollo de tratamiento por el cual las cargas eléctricas de las sustancias coloidales diluidas son neutralizadas con la de sustancias insolubles en el agua, lo que permite la creación de partículas mayores o aglomeradas que pueden ser descartadas por sedimentación o filtración.

El tipo y la dosis del coagulante y el PH afectan en la eficacia del proceso. Algunos de los coagulantes usados son el sulfato férrico y el sulfato de aluminio.

### **2.2.2.3. Ósmosis inversa.**

Es un desarrollo para descartar las sustancias diluidas que están presentes en el agua, obligando el movimiento del agua por una membrana semipermeable bajo una presión superior a la osmótica. Su eficiencia es de 95% de remoción de arsénico disuelto.

Este procedimiento es efectivo para remover el arsénico de aguas subterráneas. La productividad del proceso con osmosis inversa es afectada especialmente por la turbiedad, hierro magnesio y sílice.

### **2.2.2.4. Intercambio iónico.**

Proceso físico y químico, por el que los iones de una clase dada son apartados de un material insoluble de intercambio (resina) por otros iones que encuentran en solución. Las consideraciones que se tiene en este desarrollo comprenden el pH, iones competitivos, tipo de resina, alcalinidad, concentración de arsénica en el efluente, disposición de la resina y los regeneradores usados, efectos secundarios de la calidad del agua y los parámetros de diseño de operación.

### **2.2.2.5. Ablandamiento con cal.**

Es un proceso usado para remover la dureza del agua y radica en agregar cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) al agua. Este proceso es práctico para eliminar  $\text{As}^{+3}$  o  $\text{As}^{+5}$  y la eficacia de la eliminación está en función del pH. Este proceso tiene un alto provecho para eliminar aglomeraciones de arsénico de  $50 \mu\text{g}/\text{L}$ , sin embargo, para disminuir a  $1 \mu\text{g}/\text{L}$ , se hace uso de un procedimiento secundario.

La remoción de  $As^{+5}$  es mayor al 90% a un pH de 10.5 o más, siendo el pH perfecto de operación mayor que 10.5. En el sistema de reblandecimiento con cal se crea una notable cantidad de lodo.

#### **2.2.2.6. Aplicación de aire y luz solar.**

Investigadores australianos crearon un proceso sencillo para remover el arsénico del agua potable usando solo la luz solar y aire. La radiación ultravioleta que esta emite, cataliza la oxidación del arsénico a la forma menos nociva, la cual puedes ser precipitada en forma de arsebato férrico y posteriormente removida.

#### **2.2.2.7. Aplicando electro tratamiento.**

Este método permite la remoción del arsénico diluido en el agua por medio de electrodos de hierro que favorecen la adsorción de los iones que están presentes en este elemento. Los experimentos hechos con este proceso permiten obtener eficacias mayores al 90%. La ventaja con la que cuenta este proceso es que no es necesario variar las condiciones iniciales de pH, ni que no se produce un cambio abrupto de las misma, al terminar el proceso.

### **2.2.3. Zeolitas.**

#### **2.2.3.1. Desarrollo histórico de la zeolita.**

Las zeolitas constituyen una familia superior a 80 especies minerales que, los mineralogistas conocen desde hace 2 siglos. La primera zeolita fue hallada en 1756 por A.F. Cronstedt, que le dio el nombre griego "piedra que hierve" basado a la cualidad que tienen de perder el agua al ser calentadas.

Hacia 1920 se lograba saber que estos minerales tenían cualidades de absorción selectiva de sustancias de ahí fueron llamados "tamices moleculares". A fines de la década del 40 había una alta demanda comercial pero la falta de materias primas logro el comienzo de las zeolitas sintéticas.

En la actualidad, coexisten en el mercado las zeolitas sintéticas y las naturales teniendo las primeras mayor valor comercial puesto que tienen una enorme variedad en el compuesto a tamizar. Las zeolitas naturales son procesos geológicos abundantes en zonas volcánicas e intrusivas.

La estructura ordenada de las zeolitas deshidratadas, unido con su elevada zona superficial interna usable para la adsorción selectiva de moléculas, transforma a estos materiales en unos excelentes tamices moleculares.

En 1862 se describe la primera síntesis hidrotermal de una zeolita, la levynita, y desde ese momento se han conseguido numerosas zeolitas sintéticas. Unión Carbide introdujo las zeolitas para separaciones de intercambio iónico. A finales de los años 70, investigando nuevas composiciones de óxidos fuera de las ya conocidas en zeolitas y tamices moleculares de Silicio, investigadores de Unión Carbide hallaron una nueva familia de tamices moleculares.

Dándole un vistazo a la tabla periódica, y justificándose en los principios de la química del cristal de los óxidos conocidos, los primeros elementos que se estudiaron como cationes tetraédricos fueron el aluminio (Al) y el fosforo (P).

### **2.2.3.2. Descripción de las zeolitas naturales.**

Las zeolitas son aluminosilicatos constituidos por redes cristalinas tridimensionales conformadas de tetraedros del tipo  $TO_4$  (T corresponde a: Si, Al, B, Ge, Fe y Co, entre otros) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno. A continuación, presentaremos los principales tipos de zeolitas naturales:

- a)** Tetraedro con átomo de Si en el centro y oxígenos en los vértices.
- b)** Tetraedro con átomo de Al en el centro y un catión monovalente.
- c)** Cadena múltiple de tetraedros, cationes bivalentes cada dos centros de Al.

Las zeolitas naturales poseen propiedades de porosidad, adsorción y cambio iónico. La porosidad requiere, que las zeolitas estén formadas por canales, cavidades regulares y uniformes de diámetros de dimensiones moleculares (3 a 10 nm), produciendo que las zeolitas tengan una superficie interna mayor respecto a la externa. La adsorción es un fenómeno superficial.

La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionado a que la superficie interna que esta tiene, hace que los átomos que están en la superficie, no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como sucede en los átomos ubicados en el seno del sólido.

La propiedad de intercambio iónico que tienen las zeolitas es característica de otros silicatos cristalinos como arcillas y feldespatos. Está relacionada con el Aluminio el cual está presente en la red zeolítica.

### 2.2.3.3. Clasificación de las zeolitas en base a sus formas.

La constitución de partículas de un mineral de zeolita depende de la interpelación de los factores físicos y químicos. La presión, la temperatura y el tiempo son las consideraciones físicas que duramente afectan la alteración zeolítica. Muchas zeolitas en rocas sedimentarias son constituidas por cenizas volcánicas u otros materiales piro clásticos por resistencia de amorfos con otros, causados por la variación de feldespatos preexistentes, feldespatoides, sálica piogénica, o minerales de arcilla escasamente cristalizados.

Las zeolitas son rocas sedimentarias son constituidas posiblemente por medio de reacciones de disolución-precipitación. Fundamentándose en el marco geológico de las zeolitas, mineralogía y génesis. Los depósitos de zeolitas han sido organizados en los siguientes:

- **Sistemas Cerrados:** Depósitos constituidos por materiales volcánicos en sistemas hidrológicamente cerrados, sistemas salinos- alcalinos.
- **Sistemas Abiertos:** Son depósitos constituidos en sistemas hidrológicamente abiertos. Lagos de agua dulce.
- **Hidrotermales:** Depósitos constituidos por sistemas hidrotermales o por la actividad de brotes calientes.
- **Marítimos profundos:** Depósitos constituidos por un medio marítimo profundo.
- **Zonas Erosionadas por la intemperie:** Depósitos creados en tierras, normalmente de materiales volcánicos.

#### **2.2.3.4. Metalurgia de minerales no metálicos: Zeolitas.**

Las zeolitas son un conjunto de minerales aluminosilicatos hidratados muy cristalinos, que al deshidratar se incrementan, en el cristal ideal, una organización porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 Armstrong. También se sabe, que una zeolita es un mineral aluminosilicatos ya que su configuración forma cavidades en las cuales hay iones grandes y moléculas de agua, con gran facilidad de desplazamiento que hacen probable el cambio iónico y la deshidratación reversible. Las zeolitas están constituidas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La configuración cristalina está justificada en las tres direcciones de la red con  $\text{SiO}_4$  en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos distribuidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas tienen aspectos únicos para una gran variedad de aplicaciones prácticas.

Breck (1974) nos dice que las zeolitas son diferenciadas por las propiedades siguientes:

- Alto grado de hidratación.
- Poca densidad y un enorme volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- El equilibrio de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las características de intercambio del catión.
- Tiene canales moleculares uniformes ordenados en los cristales deshidratados.
- Por su capacidad de absorber gases y vapores.
- Por sus características catalíticas.

Todas las zeolitas son tomadas como tamices moleculares, son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas basados en su tamaño, pero no todos los tamices moleculares son tomados como

zeolitas, puesto que el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se estiman como tamices moleculares.

### 2.2.3.5. Clasificación de las zeolitas según el tamaño de poros.

Conociendo la gran cantidad de átomos que constituyen los anillos 6 poros por los cuales se introducen al espacio intracristalino, las zeolitas se clasifican tal y como se puede observar en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°2.** Clasificación de las zeolitas respecto al tamaño de poros.

<b>Zeolita</b>	<b>Átomos que forman la abertura</b>	<b>Diámetro de poro <math>\theta</math> (Å)</b>
Extra grande	18	$\theta > 9$
Grande	12	$6 < \theta < 9$
Mediano	10	$5 < \theta < 6$
Pequeño	8	$3 < \theta < 5$

### 2.2.3.6. Aplicación de las zeolitas como agentes adsorbentes.

La aplicación inicial de las zeolitas va directo a los ojos. Se logra conocer que, si un líquido o un gas estén formados por dos diferentes tipos de moléculas, unas más grandes que las otras, y si tenemos de una zeolita en el cual sus poros o ventanas tengan un volumen intermedio entre las moléculas chicas y las grandes, sólo las primeras penetrarán en la zeolita, pero las segundas, seguirán su camino.

Así es como se separan los dos componentes: la zeolita actúa como un tamiz molecular, Mc Bain quien es ampliamente conocido por esta propiedad y acuñó el término tamiz molecular (o malla), pero es R.M. Barrer (Reino Unido), en la década de 1940, fue el primero en probar la zeolita como tamiz molecular.

Con la sinopsis de zeolitas en los años 50, las separaciones anticipadamente probadas en el laboratorio Unión Carbide emitió al mercado, a inicios del año 54, adsorbentes con base en zeolitas y, la División Linde, estableció su uso industrial para conseguir argón de una pureza muy alta.

Efectivamente, la molécula de argón es levemente superior que el oxígeno y no llega a penetrar en la zeolita tipo 4A a una temperatura baja. Por otro lado, uno de los primeros métodos de separación en la industria fue que usaban zeolita 4A para distribuir trazas de agua en la sustancia congelada del refrigerador doméstico, que todavía se usa en nuestra aplicación. Actualmente se sigue insistiendo con razón en que los términos zeolita y tamiz molecular no son iguales.

Realmente, para que sea tamiz molecular no es necesario que el material sea un aluminosilicatos cristalino con una red abierta que apruebe el intercambio de iones y una deshidratación reversible, como es el caso de la zeolita.

Es así que, con la propiedad adsorbente demostrada, por muchos años, se ha buscado suprimir metales pesados, especialmente arsénico, en los varios tipos de aguas, porque representa un contaminante difícil de controlar.

#### **2.2.4. Contenido de arsénico en el agua.**

Debido a la disolución natural de minerales en sedimentos geológicos, la liberación de aguas residuales industriales y la precipitación atmosférica, el arsénico está presente en el agua. En aguas superficiales que contienen mucho oxígeno, el tipo más común es pentavalente o arseniato ( $\text{As}^{+5}$ ). Por debajo del límite de reducción, el arsénico trivalente o el arsénico ( $\text{As}^{+3}$ ) son abundantes en los residuos de aguas subterráneas o lagos.

La contaminación del agua con arsénico ocurre en varias ocasiones por causas naturales, puesto que es un elemento muy habitual en el entorno; o también es el resultado de algunas labores humanas como la minería, que pueden incrementar su aglomeración en los ríos que pasen o inicien cerca de su zona de intervención.

El arsénico tiene su existencia de forma orgánica y también de forma inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (presentes en el agua) son muy dañinos, mientras que los compuestos de arsénico orgánico (presentes en pescados y mariscos) son menos dañinos para la vida humana.

##### **2.2.4.1. Contenido de arsénico presentes en aguas subterráneas.**

El principio del acuífero más grande con alto contenido de arsénico está relacionado con los procesos geoquímicos naturales. Una de las características más destacadas de la fuente natural de arsénico en las aguas subterráneas es que no existe una conexión directa entre el alto contenido de arsénico en el agua y el alto contenido de arsénico en el material del acuífero.

No se conoce un modelo geológico/hidrogeológico frecuente para todas las consecuencias reconocidas, hallándose aguas con arsénico en circunstancias distintas, tanto en situaciones reductoras y en circunstancias oxidantes, o en acuíferos sobreexplotados, en distintas zonas como son las áridas y húmedas, o tanto en acuíferos superficiales libres como el acuífero profundo confinados.

Esta cantidad de circunstancias se define por la singularidad de las circunstancias y procedimientos que ocurren en cada caso, es decir, la disposición de arsénico en cada caso es el resultado de un ambiente geoquímico y limitaciones hidrogeológicas específicas. En contraste con la contaminación antropogénica, que causa disturbios locales, las aglomeraciones muy altas de arsénico natural pueden alterar grandes áreas. La “contaminación” natural registrada del arsénico en las aguas subterráneas está relacionada con ambientes geológicos muy diferentes: meta-sedimentos con juntas mineralizadas, formaciones de roca volcánica, formaciones de roca volcánico-sedimentaria, áreas mineras, sistemas hidrotermales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, etc. La recolección de arsénico en las aguas subterráneas está básicamente controlada por la interacción agua-roca en el acuífero.

#### **2.2.4.2. Contenido de arsénico presentes en aguas superficiales.**

Los valores de fondo incluyendo el arsénico en ríos son realmente bajos, en general, inferiores a  $0.8\mu\text{g/L}$ , pero, pueden alterarse dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de lugares mineralizadas, clima, actividad minera y distribución de residuos urbanos y/o industriales.

En los sitios de clima árido, el incremento de arsénico en las aguas superficiales se ve mejorando por procesos de evaporación, que asimismo provocan un crecimiento en la salinidad y el pH de las aguas. Los valores de fondo de contenido de arsénico en aguas lacustres no son muy diferentes a los observados en ríos, al estar fundamentalmente controlados por los mismos factores físicos. No obstante, en los lagos se tiene el incremento de los procesos de evaporación (por ejemplo, lagos de climas áridos), o la estratificación de la columna de agua, que crea la aparición de un ambiente oxigenado en el epilimnio (capa superior) y otro de condiciones anoxias en el hipolimnion (capa inferior).

Por lo tanto, asimismo se produce una estratificación relativa de las variedades de arsénico, con predisposición al predominio de As (V) en el epilimnio y As (III) en el hipolimnion, también de una variación de la junta de arsénico con la profundidad. Sin embargo, la forma del arsénico en el lago no siempre ha seguido el patrón esperado. En el agua de océano, la unión promedio de arsénico está ubicada en una categoría de 1,5 a 4 g/L. Las aglomeraciones en áreas de estuarios son inestables, como resultado de la contribución de aguas continentales y sedimentos continentales, y de variaciones locales de salinidad y gradientes redox. El contenido de arsénico en el agua de los ríos de áreas mineras o de mineralización es alto, generalmente en el rango de 200-400  $\mu\text{g} / \text{L}$  (Galindo, Luis y Turiel, 2005).

La contaminación de As de origen geotermal en aguas superficiales y en acuíferos muy poco profundos asimismo ha sido reportada en varias ocasiones en áreas geotermales en todo el mundo, se han dicho valores de concentración de arsénico de inclusive 370  $\mu\text{g}/\text{L}$  en zonas de dominio de sistemas geotermales.

#### **2.2.4.3. Consecuencias del arsénico para el consumo del agua.**

El arsénico tiene su existencia en condición orgánica como inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (presentes en el agua) son extremadamente dañinos y, en lo que respecta a los compuestos de arsénico orgánico (presentes en pescados y mariscos) son poco dañinos para la salud. (Flenagan, 2012).

Los síntomas comunes de envenenamiento aguda por arsénico son vómitos, malestar abdominal y diarrea. Inmediatamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u picazón en las extremidades o calambres musculares y en casos extremos la muerte. Los síntomas iniciales de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan totalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las puntas de los pies (hiperqueratosis).

Estos efectos se producen después de al menos cinco años de exposición y pueden ser un precursor del cáncer de piel. La exposición continua al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y cáncer de pulmón. El centro internacional de investigaciones sobre el cáncer (CIIC) ha encasillado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para la vida humana, el arsénico que se encuentra en el agua de bebida asimismo esta agregado en esa clase por el CIIC.

#### **2.2.4.4. Límites permisibles de arsénico presentes en el agua.**

El arsénico es un elemento común en el agua natural, las rocas y el suelo, la hidrosfera y la biosfera. Ingresa al medio ambiente a través de una mezcla de los siguientes procesos: procesos naturales (meteorización, actividades biológicas, emisiones volcánicas) y procesos

antropogénicos, es decir, creados por el hombre (aguas residuales, actividades mineras, uso de combustibles fósiles, uso de pesticidas y herbicidas). Por ello, ha comenzado a exigir a organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) que reduzcan el límite de arsénico en el agua potable, que es de 0,001 mg / L.

#### **2.2.4.5. Situación a nivel mundial.**

Los altos niveles de arsénico natural pueden afectar muchas áreas extensas en diferentes partes del mundo. Asimismo, debido a la inconveniencia del arsénico en el agua potable, en todo el mundo se están utilizando aguas subterráneas con alto contenido de arsénico para el riego de diferentes cultivos. Como resultado, esta práctica produjo la aglomeración de arsénico en el suelo y aumentó su propagación a la cadena alimenticia

Las diferentes ocurrencias de arsénico en las aguas subterráneas en el mundo están relacionadas con diferentes ambientes geológicos, capas de rocas volcánicas, capas de rocas sedimentarias volcánicas, áreas mineras, sistemas hidrotermales y cuencas aluviales terciarias y cuaternarias (Smedley et al., 2002). En varios lugares, se han encontrado un gran número de áreas con contenido de arsénico en aguas subterráneas superior a 50 µg / L.

Los temas más importantes citados en la literatura se encuentran en: Asia, incluidos Bangladesh, India (Bengala Occidental), Nepal, China. Taiwán, Vietnam. En Estados Unidos, Estados Unidos, Argentina, Chile, Perú, El Salvador y México. En Europa, Grecia, Hungría, Rumanía y España.

Asia ha sido el continente en el cual se han elaborado la mayor cantidad de estudios, principalmente en Taiwán y en Bangladesh (Litter & Armienta).

También se encuentran otras áreas, relacionadas con procesos hidrotermales en Argentina, Chile, Japón, Nueva Zelanda, EE. UU, Islandia, Francia, Dominica y Kamchatka. Áreas con problemas de arsénico en semejanza a depósitos minerales y minería han sido reconocidas en numerosas partes del mundo, siendo los casos crecidamente sobresalientes los de Ghana, Grecia, Tailandia, Chile, Perú, Bolivia, Brasil, México y EE. UU (Electrónica et al, 2008) (Berg et a,2001)

Dado que se han descubierto enfermedades relacionadas con este elemento, es un problema muy útil tratar el arsénico en el agua en todo el mundo, y la gravedad del problema se ha reconocido por el hecho de que se han determinado los efectos de las intoxicaciones de los residentes y de enfermedades hídricas.

#### **2.2.5. Mineralogía. (Zeolita)**

La zeolita existe como una variedad de signos geológicos, principalmente como una variante de minerales antigénicos a temperatura, como mineral en sistemas metamórficos y como mineral secundario en áreas erosionadas por el clima.

Las zeolitas comerciales están en la actualidad limitadas por marcos antigénicos y por último en modificaciones de rocas sedimentarias cristalinas. Comúnmente son 9 las zeolitas que ocurren en rocas sedimentarias. La analcima, chabazita, la clinoptilonita, la erionita, la ferrierita, la huelandita, la laumontita, la modernita y la filipsita.

La analcima y la clinoptolinita son las más abundantes. Las 9 zeolitas muestran un gran rango de contenido de cationes y radio de Si: AL. Excepto por la hielandita y la laumontita, estos normalmente son alcalinos y más siliciosos que sus contrapartes en rocas ígneas.

Los posibles usos comerciales de los minerales de zeolita están sujetos a las seis restricciones anteriores. Chabasita, clinoptilolita, erionita, zeolita moderna y filipsita.

Estos son los más comunes y abundantes en la naturaleza, y tienen suficiente capacidad de intercambio iónico de absorción y tamices moleculares. La ferrierita y la faujasita son de igual forma potenciales económicos, pero estas son menos usuales y son notables en pocos lugares en el mundo.

#### **2.2.5.1. Método de minado.**

Por su diminuto costo de desarrollo, las zeolitas sedimentarias son minadas por procesos a cielo abierto.

La excavación se lleva a cabo por equipo convencional para trasladar la tierra. Este minado acorta costos, como lo es el uso de explosivos, el mecanismo para la remoción de la tierra y el encargado directo a los camiones de carga para que el mineral minado sea llevado a una planta de procesamiento. Las variaciones en la clase de la mena pueden ser manejados por un minado selectivo.

La verificación de calidad es determinada por muestreos por intermedio de brocas, tomando muestras periódicas, evaluando visualmente el material en el mismo sitio, y sacando muestras sistemáticas de los camiones de carga.

### **2.2.5.2. Procesamiento.**

Las zeolitas naturales son exportadas como artículos triturados y cribados, por consiguiente, como pulverizados o micronizados a productos ultra finos. El producto triturado y cribado de esos materiales es de minúsculo costo y es utilizado en aplicaciones simples como son: acondicionamiento de suelos o como casa de animales domésticos, que toleran un ecuánime de basto y rango de tamaño de partícula.

Muchas zeolitas son trituradas, pulverizadas y clasificadas en una clase de tamaño de -60 a +325 mallas. Micronizando productos tan finos de 5 a 10 mm y muy finos como de 1 mm los cuales son preparados para usos especiales (papel filtro). El cargo de las zeolitas naturales puede aumentarse lavándose con ácido y solución de NaCl para elevar los contenidos de iones de  $H^+$  y  $Na^+$  equivalentemente.

Los productos de clonoptilolita son reservadamente elevados en la capacidad de intercambio iónico por lavado para suplir los iones de  $K^+$  por iones de  $Na^+$ . Los productos de chabazita son habitualmente conglomerados y ligeramente quemado para disminuir su friabilidad total.

### **2.2.5.3. Usos.**

Desde un punto de vista práctico, la zeolita se puede adaptar a una gran diversidad de usos:

➤ **Agricultura:**

- Control del olor.
- Manejo del ambiente de animales confinados.
- Aditivos de alimentación para ganados.

➤ **Horticultura:**

- Viveros, invernaderos.
- Floricultura.
- Vegetales/hierbas.

- Pre plantación de arbustos y árboles.
- Añadido para la hierba de césped.
- Reposición, revegetación ordenación paisajística.
- Selvicultura (bosques, plantaciones de árboles).
- Medio para crecimiento hidropónico.

➤ **Acuicultura:**

- Filtración de amonio e incubadoras de pescado.
- Medio bio-filtro.

En una piscifactoría la tasa de agua con pescado puede ser muy elevado. Esto provoca una rápida contaminación del agua y aglomeración de sustancias nocivas. Por eso es obligatorio sistemas de saneamiento del agua.

Las zeolitas pueden utilizarse en diferentes pasos en el procedimiento de saneamiento y/o aireación, como ingrediente de apoyo para bacterias, como medio de filtración para la extracción de sólidos y partículas en suspensión y el desarraigo de iones no codiciados al mismo tiempo.

➤ **Productos domésticos:**

- Control del olor en casa.
- Control del olor de animales de compañía.

El uso casero se relaciona primordialmente con el aroma y absorción de líquidos. Una gran cantidad de gases incluido formaldehído, sulfuro de hidrogeno se ha probado que pueden ser absorbidos por la zeolita. Se utiliza en acuarios para la absorción de amonio.

Luego de que el producto residual se utiliza completamente, se utiliza como compost para el acondicionamiento y cooperación a la textura del suelo y su capacidad de conservación de nutrientes.

➤ **Productos industriales:**

- Absorbentes para aceites y derrames.
- Separaciones de gases.

Usos industriales tienen como base las propiedades de absorción de líquidos y vapores por las zeolitas. Puede ser un lavador perfecto de estructura granular para el lavado de derrames de aceites y químicos, no es peligroso y es seguro para su utilización.

➤ **Residuos radioactivos:**

- Remediación/ re contaminación.

➤ **Tratamiento del agua:**

- Filtración.
- Extracción de metales pesados.
- Piscinas.

➤ **Tratamiento de aguas residuales:**

- Extracción de amonio en lodos y aguas residuales municipales.
- Extracción de metales pesados.
- Campos de lixiviados sépticos (pozos negros)

## 2.3. Marco conceptual.

1. **Adsorción.** Fenómeno en el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos. **(Julián Pérez, 2009).**

2. ***Aguas anoxicas***: Son zonas de distintos tipos de agua (marina, dulce o subterráneas) en estas el oxígeno disuelto está agotado. **(Ana Gardey, 2007)**.
3. ***Alotrópico***: Significa que un mismo elemento, en este caso el Arsénico, se presentan con estructuras moleculares distintas. **(Julio César de Jesús Balanzá Chavarria, 2010)**.
4. ***Alteraciones de la pigmentación***: Se refiere a la alteración de la estructuración de pigmentos cutáneos por lo que la piel presenta un aumento (hiperpigmentación) o una disminución (hipo pigmentación o acromía, despigmentación) de la coloración. **(Palestino Abdeljabbar, 2011)**.
5. ***Arsénico***: El arsénico es universal, está presente en la atmosfera, rocas, suelos, aguas naturales, tales como reacciones de deterioro o variación debidas a los agentes atmosféricos, actividad biológica y dispersiones volcánicas, como así también a través de un rango de actividades antropogénicas **(Kinninburgh y Smedley, 2001)**
6. ***Coliformes***: La denominación genérica coliformes señala a un conjunto de especies bacterianas que poseen algunas cualidades bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos **(Lucas Burchard, 2005)**
7. ***Clinoptilolita***: La clinoptilolita es una serie de tres minerales con el mismo nombre, de la clase de los tectosilicatos y dentro de estos, del grupo de las zeolitas **(Academia española)**
8. ***Hidroarsenicismo crónico***: Es una enfermedad ambiental crónica cuya etiología está asociada al consumo de aguas contaminadas con sales de arsénico y que en algunas regiones de mundo es de carácter endémico.

En algunos estudios se le llama por su acrónimo HACRE (**Acta Biouim. Clin. Latiniam, 2015**)

9. **Hiperqueratosis:** La hiperqueratosis es el aumento de la piel debido a la irritación por el sol, productos químicos, la fricción frecuente o la presión. El engrosamiento de la piel se produce en la capa externa de la piel, la que contiene una proteína resistente protectora llamada queratina (**Francisco Tequena, 2008**)
10. **Metamorfismo:** Desarrollo que tiene variaciones en la mineralogía y/o microestructura de una piedra en estado sólido. El cambio es esencialmente bueno para una adecuación de la piedra en condiciones físicas que difieren de aquellas bajo las que la roca parental se formó y que difieren de las condiciones físicas que normalmente existen en la superficie de la tierra y en el área de diagénesis (**Witold Smulikowski, 2003**)
11. **Proceso antropogénico:** Es aquella causada por los humanos, algunas de las más importantes son Industriales. Según el tipo de industria se producen diferentes tipos de residuos, las más peligrosas son las que producen contaminantes más nocivos, como metales tóxicos. (**Francisco Valdez, 2001**).
12. **Meta sedimentos:** Es un sedimento o roca sedimentaria que muestra pruebas de haber sido sometida a metamorfismo. Un meta sedimento es una roca metamórfica creada a partir de una roca sedimentaria. (**Sebastián O. Verdecchia, 2009**).
13. **Mineralogía:** Es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que están presentes en el planeta en sus variados estados de agregación. (**Cecilia Bembibre, 2004**).

- 14. Zeolitas:** Uno de la familia de los minerales es el aluminosilicatos hidratado altamente cristalino, que cuando se deshidrata, produce una estructura porosa con el diámetro de poros mínimos. **(Mumpton, 1984).**
- 15. Zeolita natural:** La zeolita natural tiene una forma especial de intercambio iónico, absorbe cationes como cadmio, mercurio, níquel o arsénico (metal pesado) y se puede utilizar para diversos fines naturales como la agricultura y la alimentación animal, la purificación de aguas, la filtración de gases o la salud humana. **(Smith,1997)**
- 16. Zeolita sintética:** La Zeolita Sintética es tamiz molecular en polvo o pasta. Habitualmente se utiliza en sistemas de poliuretano de 2 componentes. El aditivo adsorbe agua, así como otras impurezas en la creación de algunos plásticos. **(Barrer & Klinowski, 1974).**
- 17. Zeolita tipo 4A:** La zeolita sintética (tamiz molecular) se marca con letras, que introdujo el primer investigador (según el derecho de prioridad): por ejemplo, la zeolita A, la zeolita K-G, la zeolita ZK-5, etc. Estos símbolos se emplean para designar la modificación de las zeolitas que se estructura en la síntesis. **(Aguilar Armenta, 2001).**

## CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1. Tipo y nivel de investigación.

- **Tipo de estudio:** El ejemplo de estudio realizado en esta tesis es aplicativo – experimental, por lo que se propone efectuar prácticas con la intención de eliminar la mayor cantidad viable de arsénico que está presente en el agua siendo este lo aplicativo. Además, se realizarán ensayos de laboratorio de varios métodos convencionales siendo esta la parte experimental.
- **Nivel de la investigación:** El grado de conocimiento realizada es descriptiva-analítica. Descriptiva, puesto que en ella se basa la descripción de los distintos métodos de la remoción del arsénico en varios tipos de agua y así poder obtener una recuperación de agua tratada más efectivo. En cuanto a lo analítica, se desarrollarán diversos análisis para poder conocer la cantidad del arsénico removido en el agua.

### 3.2. Población y muestra de investigación.

- **Población:** Para este caso se utilizó una población que estuvo estructurada en las contaminaciones de las diferentes clases de aguas, sea este de origen natural, subterráneas, de ríos, en zonas mineras, etc., es decir toda clase de agua que contenga el arsénico el cual sería dañino para la salud humana.
- **Muestra:** En estos dos métodos se utilizaron soluciones con agua destilada y polvo de arsénico puro, con un contenido de 5,000 ppm, que luego del proceso se ha obtenido en el caso de la zeolita sintética hasta 7 ppm de contenido de arsénico y en el caso de la zeolita natural de 2 a 3 ppm de presencia de arsénico.

### **3.3. Variables e indicadores.**

➤ **V. Independiente:**

- Empleo de las zeolitas naturales.

➤ **V. Dependiente:**

- La cantidad del arsénico que van a eliminar de las distintas clases de agua.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de investigación.**

#### **3.4.1. Materiales de estudio.**

Para el avance de nuestro trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales:

- Papel Bond A-4 (Impresión).
- USB.
- Discos o CD.
- Computadora.
- Revistas de acuerdo al tema.
- Libros relacionados al tema.
- Internet.
- Fotografías e imágenes.
- Impresora.
- Folders.
- Lápiz, Lapiceros.

### **3.4.2. Materiales de laboratorio.**

Para el avance de nuestro trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales de laboratorio:

- Pipetas aforadas de 10 ml.
- Soporte Universal.
- Agarraderas.
- Balanza eléctrica digital.
- Vasos de precipitado.
- Matraz aforado de 50, 100, 250, 500 ml.
- Probeta de 50 ml.
- Mechero Bunsen.
- Trípode.
- Cocinilla.
- Termómetro de laboratorio.
- Piseta.
- Probeta.
- Fiola de 100 ml.
- Luna de reloj.
- Embudo.
- Papel filtro.
- Bagueta.
- Espátula de laboratorio.

### 3.4.3. Reactivos.

Para el desarrollo del nuestro trabajo de investigación se utilizó los siguientes reactivos:

- Agua destilada.
- Sulfato de plata  $\text{SO}_4\text{Ag}_2$
- Zeolita sintética.
- Zeolita natural pulverizada.
- Arseniato ácido de sodio:  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  al 60% M/M.
- Sulfato de hierro (II)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Solución de NaOH 16 molar.
- Cloruro de hierro (III)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Arena activada.
- Carbón activado.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de resultados.

La investigación se ha ido expandiendo experimentalmente, también se ha tenido en cuenta algunas técnicas como, por ejemplo, bibliográfico, descriptivo, y análisis de los métodos. La explicación de la presente investigación se realizó generalmente a través de:

- Recopilación de puntos basados en el tema.
- Selección de datos teóricos en diversas fuentes de información, de las distintas clases de agua con presencia de arsénico.

## **3.6. Método de investigación.**

### **3.6.1. Diseño del método de investigación.**

A continuación, se llevarán a cabo dos pruebas:

- ❖ El método de la zeolita sintética y el método de la zeolita natural. Se tomará en cuenta los 2 estados de valencia, el arsenito As (III) que es el más difícil para el tratamiento, debido a que tiene una carga neutra, sin embargo, es fácilmente oxidable con el cloro y el ozono para formar arseniatos.
- ❖ Por otro lado, utilizando algunos óxidos o hidróxidos de metales como el hierro o arsénico se oxida formando complejos insolubles fácil de eliminar por métodos físicos utilizando un filtro.

En estos dos métodos se utilizaron soluciones con agua destilada y polvo de arsénico puro con un contenido de 5,000 ppm, que luego del proceso se ha obtuvo en el caso de la zeolita sintética hasta 7 ppm de contenido de arsénico y en el caso de la zeolita natural de 2 a 3 ppm de contenido de arsénico.

### **3.6.2. Métodos y procedimientos.**

#### **3.6.2.1. En primer lugar, se tratará con zeolita sintética.**

##### **a) Pasos para la preparación de la muestra solución de arsénico.**

1. Preparar 250 ml de una solución de arsenito  $[\text{AsO}_3]^{-3}$  con una concentración de 1 000 mg/L de As.

La solución madre se preparó con trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) disuelto en un medio alcalino preparado con hidróxido de sodio (NaOH).

- 1.1. Disolver en un vaso precipitado 0.02 g de hidróxido de sodio (NaOH). (Fotos N°1 y 2)



Foto N°1



Foto N°2

- 1.2. Disolverlo con 2.5 ml de agua destilada con la ayuda de una pipeta. (Foto N°3)



Foto N° 3

- 1.3. Luego, con ayuda de una luna de reloj y espátula de laboratorio, pesar 0.007 g de trióxido de arsénico. **(Fotos N° 4, 5 y 6)**

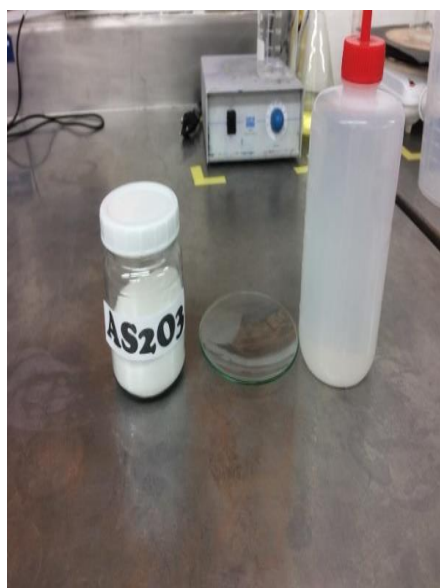


Foto N°4

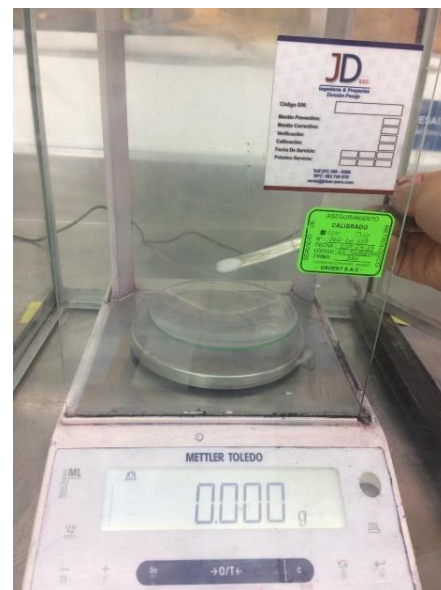


Foto N°5



Foto N°6

- 1.4. Agregar los 0.007 g de trióxido de arsénico a la solución anterior.  
(Foto N°7)



Foto N°7

- 1.5. Añadir agua destilada con la ayuda de una piseta, en una fiola de 250 ml, para una mayor exactitud. (Foto N°8)



Foto N°8

- 1.6. Enrasar el agua destilada la solución anterior y agitar la solución con la ayuda de una bagueta, logrando una concentración de 20 mg/L de As. **(Foto N°9 y 10)**



Foto N°9

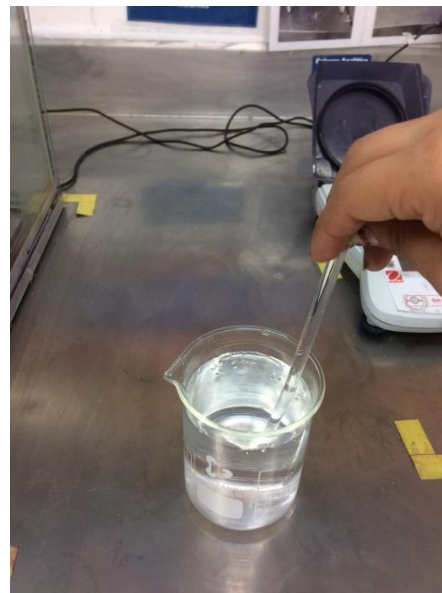


Foto N°10

**b) Pasos para el acondicionamiento de la zeolita sintética.**

El primer método se basó en la precipitación de óxidos de hierro acerca de la zeolita, por medio de la evaporación a 100 °C de una solución de compuestos de hierro (cloruro férrico  $\text{FeCl}_3$  para lograr una película de óxidos de hierro acerca de la zeolita). Una vez frío el material se lavó con agua des-ionizada y se secó a temperatura ambiente.

A continuación, se seguirán los siguientes pasos:

1. Pesar 60 gr de zeolita, con el apoyo de una balanza analítica, y agregarlo a un vaso precipitado. **(Foto N°11, 12, 13 y 14)**



Foto N°11



Foto N°12



Foto N°13

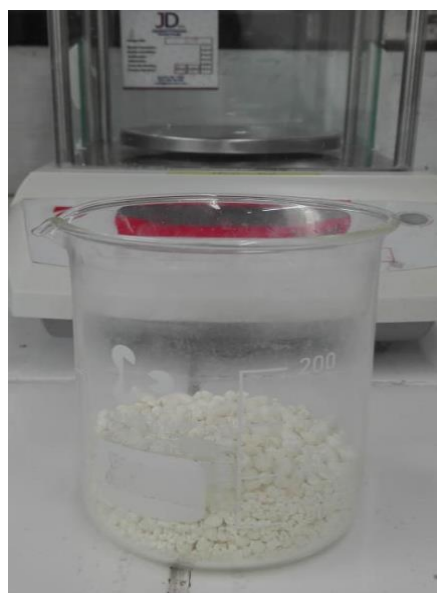


Foto N°14

2. Preparar una solución de  $\text{FeCl}_3$  al 0.5 M.

2.1. Pesar 0.5 gr de  $\text{FeCl}_3$ , con el apoyo de una balanza analítica.  
(Foto N°15 y 16)



Foto N°15



Foto N°16

2.2. Agregar los 0.5 gr de  $\text{FeCl}_3$ , al vaso precipitado con la zeolita.  
(Foto N°17 y 18)



Foto N°17



Foto N°18

2.3. Llenar en una probeta 60 ml de agua destilada. **(Foto N°19 y 20)**



Foto N°19



Foto N°20

2.4. Agregar, el agua destilada al vaso precipitado y agitar. **(Foto N°21, 22 y 23)**



Foto N°21



Foto N°22



Foto N° 23

3. Llevar la solución a una estufa o cocinilla a una temperatura de 100 °C hasta completar la evaporación, con la ayuda de un termómetro de laboratorio. **(Foto N°24, 25 ,26 y 27)**



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27

4. Dejar enfriar y lavar con agua des-ionizada y filtrar el líquido con la ayuda de un embudo matraz y papel filtro. **(Foto N°28 y 29)**



Foto N°28

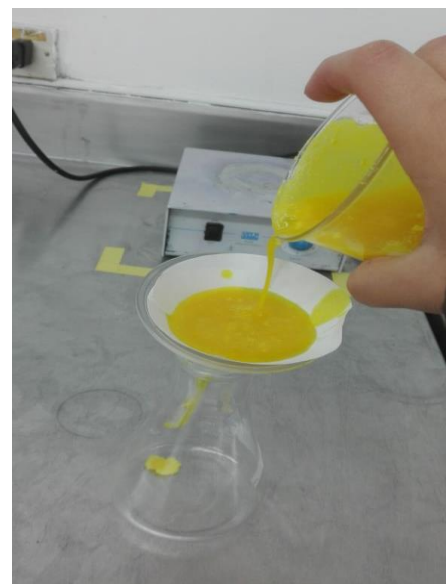


Foto N°29

5. Finalmente secar la zeolita, a temperatura ambiente y guardarla hasta su posterior utilización.
6. Resultado del acondicionamiento de la zeolita sintética. **(Foto N°30 y 31)**

Antes del  
acondicionamiento



Foto N°30

Después del  
acondicionamiento



Foto N°31

**c) Prueba de adsorción de arsénico.**

- Para esta prueba de adsorción se llegó a utilizar una solución con una concentración de arsénico de 20 mg/L preparada.

La prueba se hizo en una botella de plástico de área regular a temperatura ambiente. Se le colocó un algodón a la botella, en la salida de la boquilla para que actuara como un filtro del lecho de la zeolita.

- **Diámetro de la botella.**

$$D_{Botella} = 5.45 \text{ cm}$$

- **Por lo tanto, Área del círculo, en términos de diámetro.**

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \rightarrow A_{Botella} = \pi \cdot \frac{5.45^2}{4} = 23.3 \text{ cm}^2$$

#### **d) Pasos para la filtración.**

1. Primero se colocó dentro de la botella, el empacado (lecho) de 55 g de zeolita acondicionada, apreciando una altura de 4.5 cm dentro de la botella.
2. Después se acondiciono una capa de arena activada, de malla 250, de una altura de 1.5 cm dentro de la botella.
3. Luego se agregó una capa de 10 g de carbón activado.  
La altura dentro de la botella fue de 1.5 cm.
4. Finalmente se agregó una capa de piedra caliza chancada, para que la solución agregada se disperse uniformemente.  
La altura dentro de la botella fue de 2.5 cm.
5. Se utilizó 200 ml de la solución sintética de arsénico para que se filtre a través del lecho.

El tiempo de filtración de la solución en el lecho fue de 20 minutos para filtrar 160ml de solución sintética de arsénico.

La solución final filtrada salió de un color rojo grosella, debido a la zeolita activada que le dio ese color. Se trata la solución con mineral de bentonita para quitarle el color a la solución.

6. Se acondiciono 5 gramos de bentonita a la solución filtrada, se agito con el apoyo de una bagueta y se dejó reposar para que sedimente la bentonita.

**NOTA:** Al termino de 30 minutos la bentonita sedimentó y la solución quedó más clara.

**e) Cálculos.**

Tomamos lectura del volumen en un tiempo determinado para hallar el caudal de la filtración.

- ❖ En 3 minutos se filtró 100 ml, por lo tanto:

$$Q = \frac{100 \text{ ml}}{3 \text{ min}} = 33.33 \text{ ml/min}$$

- ❖ Aplicando formula de la velocidad de filtración:

$$v = \frac{Q}{A_{Botella}} = \frac{33.33 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ ml}}}{23.3 \text{ cm}^2}$$

$$v = 1.43 \text{ cm/min}$$

- ❖ *Tiempo de residencia en el lecho de la zeolita* =  $\frac{\text{altura de lecho}}{\text{velocidad}}$

$$\tau_{\text{residencia}} = \frac{4.5 \text{ cm}}{1.43 \text{ cm/min}} \longrightarrow \tau = 3.15 \text{ min}$$

La solución final fue derivada para su respectivo análisis mediante absorción atómica para determinar la eficiencia de adsorción de arsénico por la zeolita activada con cloruro férrico.

**Resultado:** El resultado del análisis dio un valor de 7 ppm habiendo preparado una solución de 1000 ppm de contenido de arsénico.

### 3.6.2.2. En segundo lugar, se tratará con zeolita natural.

#### a) Método de tratamiento con zeolita natural.

Se utilizó zeolita natural, chabazita:  $\text{Ca}_2[(\text{AlO}_2)_4(\text{SiO}_2)_8] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

La zeolita se redujo de tamaño con una quebradora de quijada marca de Le land Faraday de 170 x 135 mm, 5HP y quebradora de cono de cabeza corta, marca General Electric, de 222 mm, de 1HP. El producto se tamizo en una cribadora rotatoria portátil Rx-24; 80% paso por la malla #40 (0.424 mm) y 40% quedó en la malla #60 (0.24 mm). La caracterización se logró por el método de un análisis químico convencional, determinando %w (Porcentaje en peso) de la relación Si/Al, %Al, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y %SiO<sub>2</sub>, con técnicas ya establecidas por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT 2000).

A continuación, se aprecian los resultados de los análisis realizados:

**Cuadro N°3:** Composición química de las zeolitas, Natural (ZSP) Y Pre tratada (ZP)

<b>Zeolitas</b>	<b>Relación %Si/Al</b>	<b>%SiO<sub>2</sub></b>	<b>%Al</b>	<b>%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>ZSP</b>	3.29	48.10	6.77	12.8
<b>ZP</b>	3.42	43.72	6.22	11.75

**NOM-021-SEMARNAT-2000** “QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS”.

Esta norma es de obligado cumplimiento a nivel nacional, y su propósito es establecer especificaciones técnicas para el muestreo, análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos con base en características específicas de su composición, formación y distribución.

## **b) Preparación de la zeolita pre-tratada.**

❖ En primer lugar, se realizó una preparación de solución de ácido clorhídrico (HCl) a 2M, sobresaturada con óxido de magnesio (MgO) a 98 % en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se dividió la solución del exceso de MgO y se usó la solución para la preparación de la zeolita pre-tratada (ZP). Por tanto, en otro matraz Erlenmeyer de 250 ml, añadir 10 g de zeolita natural (ZSP) y mezclar con 100 ml de solución sobresaturada de MgO. Se dejó bajo agitación magnética durante 20 horas. Después, la mezcla se filtró y se secó en un horno a 110 ° C. En comparación con otros métodos que requieren procesos más complejos, este método de pretratamiento es simple y económico.

❖ **Análisis de la zeolita natural y pre tratada.** Las muestras pasaron por una etapa de prueba con un microscopio electrónico de barrido (MEB) JEOL 5300, para apreciar la morfología y realizar el análisis de los elementos en varios puntos previamente seleccionados. Se utilizaron 8 mm de distancia y voltaje de aceleración de 15 kV. El análisis de difracción de rayos-X se llevó a cabo con un difractómetro de rayos-X (D8-Advance), usando los parámetros siguientes:  $\lambda=1.52$ , 45 kV y 40 mA.

## **c) Diseño de experimentos.**

Se tuvo en cuenta una metodología de superficie de respuesta (MSR) de segundo orden y un diseño central compuesto con ocho puntos axiales y una cara centrada (Box y Wilson 1951, Montgomery 2002).

La representación matemática mostrada en la ecuación (1) es del modelo de MSR de segundo orden (Figueroa 2003):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + e,$$

Donde e representa el ruido o error observado en la respuesta “y”.

En el siguiente cuadro se puede observar los límites de los factores cuantitativos del diseño de experimentos obtenidos en el programa estadístico JMP (SAS Institute Inc. 2004).

**Cuadro N°4:** Factores cuantitativos del diseño de experimentos.

Factores Cuantitativos				Condiciones	
pH	Arsénico inicial [As] <sub>0</sub>	Relación sólida/líquido (S/L)	Tiempo de contacto t (min)	Variable de respuesta “y”	MSR 1 punto central
5	0.05	40	5	%[As] adsorción.	1 réplica
9	0.5	400	60	Maximizar	Orden aleatorio

#### d) Pruebas de adsorción.

Se usó arsenato de sodio (Na<sub>2</sub>HAs<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 98%) para preparar una solución de arsénico para lograr concentraciones iniciales de arsénico de 0.05, 0.275 y 0.5 mg / L. Se colocó 1, 5.5 y 10 g de zeolita natural pre-tratada en tubos de plástico de 50 ml y agregue 25 ml de soluciones de arseniato de sodio de diferentes concentraciones (0.05, 0.275 y 0.5 mg / L). El movimiento de la muestra se mantuvo a pH 5, 7 y 9 durante 5, 32,5 y 60 minutos, y se ajustó con una solución de HNO<sub>3</sub> 1 M y NaOH 1 M, y luego la muestra se filtró con papel Whatman 41.

Según el procedimiento indicado por la NOM-117-SSA1-1994 (SSA 1994), el análisis de arsénico se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica en un Perkin Elmer 2380, generador de hidruro, con una longitud de onda de 193,7 nm.).

**Resultado:** El resultado del análisis de las concentraciones del arsénico a 0.05; 0.275 y 0.5mg/L, filtrándolo posteriormente con un lecho de zeolita natural, se llegó a obtener de 2 a 3 ppm de arsénico hecho mediante espectrofotometría de absorción atómica.

**e) Método de tratamiento de remoción del arsénico en la zeolita natural.**

1. En primer lugar, se preparó una solución sobresaturada de HCl 2M con MgO. **(Foto N° 32)**



Foto N°32

2. En esta imagen se puede observar la zeolita natural (ZSP). **(Foto N°33)**



Foto N°33

3. Luego, se llevó a cabo la mezcla de la zeolita natural con la solución sobresaturada de MgO, con el apoyo de un agitador magnético. **(Foto N°34 y 35)**



Foto N°34



Foto N°35

4. A continuación, se pasó a filtrar y secar a 110 °C con la ayuda de un matraz, embudo y papel filtro. **(Foto N°36 Y 37)**



Foto N°36



Foto N°37

5. Por lo tanto, así quedo la Zeolita pre-tratada (ZP). **(Foto N°38)**



Foto N°38

**Resultado:** A continuación, se obtuvieron los siguientes parámetros de adsorción:

- PH: 5, 7,9
- Arsénico inicial: 0.05, 0.275, 0.5 mg/l
- Relación S/L: 40, 220 y 400 g/l.
- Tiempo de contacto: 5.325 y 60 min.

### 3.7. Propuesta de valor.

- Los proyectos de tratamiento de aguas residuales son ejecutados para evitar o aliviar los efectos de los contaminantes que estas contienen. Cuando estos proyectos son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

- Desarrollar la tecnología de remoción del arsénico, de tal forma, que se lleve a cabo la aplicación en las diferentes plantas de tratamiento de agua.
- En la industria química; aprovechar el agua libre de arsénico; para que no haya inconveniente de contaminación en diferentes industrias, sobre todo aquellas dedicadas a la producción de alimentos.
- Proponer otras tecnologías relacionadas a la remoción del arsénico, en las diferentes clases de aguas.

## CAPÍTULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados.

- Se ha llegado a comprobar que, sumando apropiadamente zeolitas naturales en distintas modificaciones catiónicas en los sistemas de filtración, se pueden alcanzar niveles de purificación de aguas muy importantes y conseguir no sólo la remoción de fosfatos, sulfatos, y cloruros; sino también, la exclusión de metales pesados como plomo, arsénico, níquel, cobre, y otros contaminantes.
  
- Teniendo en cuenta el nivel de contaminación de las aguas naturales con arsénico que nos proporciona la naturaleza, así como también el crecimiento demográfico en nuestro medio genera la necesidad cada vez en mayor cantidad el consumo de agua potable, es por ello que es netamente necesario realizar el tratamiento de estas aguas contaminadas con arsénico para el consumo humano y las industrias. Según la nueva tecnología moderna de tratamiento de agua, especialmente la tecnología de ósmosis inversa, esta tecnología puede eliminar por completo el arsénico
  
- Se realizaron dos pruebas:
  - ✓ La primera prueba se hizo con zeolitas sintéticas que, habiendo preparado una solución con agua destilada y polvo de arsénico puro en una concentración de 1000 ppm, obteniendo un resultado de 7 ppm, hecho por espectrofotometría de absorción atómica.
  - ✓ La segunda prueba se realizó en las mismas condiciones con zeolita natural en soluciones con concentraciones de 0.05, 0.275 y 0.5 mg / L, y luego se filtró con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado, se obtuvo como resultado de 2 a 3 ppm de arsénico también hecha por espectrofotometría de absorción atómica.

## 4.2. Análisis y Discusión de resultados.

- De todas las pruebas llevadas a cabo, en primer lugar, utilizando la zeolita sintética se ha obtenido un resultado positivo, el cual se preparó una solución con agua destilada y polvo de arsénico puro hasta una concentración de 1000 ppm, obteniendo un resultado de 7 ppm, hecho mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- En segundo lugar, se realizó con zeolita natural, en las mismas condiciones con una concentración en la solución de 0.05, 0.275 y 0,5 mg/L, pasando luego por una etapa de filtración, con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado, obteniendo de esta manera de 2 a 3 ppm de arsénico también hecho por espectrofotometría de absorción atómica.
- Para llegar a obtener un buen resultado, es decir que sea óptimo, es necesario contar con buenos reactivos ya que estos nos ayudaran a obtener un resultado satisfactorio para nuestro análisis.

## CAPITULO V: PRUEBA DE HIPOTESIS

### 5.1. Prueba de hipótesis.

- El estudio de investigación realizado comprueba nuestra hipótesis general, pues el proceso del empleo de las zeolitas naturales en las distintas clases de aguas requería una evaluación para poder comprobar que era un método adecuado ya que nos permite innovar tecnológicamente en la industria.
- En cuanto a la hipótesis secundaria pudimos demostrar también que a pesar de ser zeolitas naturales de características similares a las sintéticas la poca variación entre ellas influye en la remoción del arsénico en las diferentes clases de agua, asimismo se pudo comprobar pues el grado de remoción del arsénico con las zeolitas, es alto.

## CONCLUSIONES.

- En dicho proyecto, se hizo un análisis detallado de las propiedades del arsénico y su impacto en la salud y se propuso realizar los métodos mencionados para una instalación capaz de remover o reducir los niveles de arsénico que están en el agua para, que ésta sea aprobada para el consumo humano.
- Debe entenderse que las aguas residuales domésticas deben ser tratadas para mantener la salud y el saneamiento de los residentes, mantener la calidad del agua y tender a utilizar los recursos acuáticos de manera racional y sostenible.
- Es obligatorio utilizar equipos, materiales, reactivos de calidad sobre todo los reactivos, para así poder obtener un buen resultado, es decir tener en cuenta la fecha de caducidad de los materiales para poder realizar de una manera correcta y eficiente las evaluaciones respectivas.
- En relación a los resultados se puede concluir que se verifica la hipótesis que se ha planteado inicialmente acerca de la eliminación o reducción de la presencia del arsénico en las diferentes aguas con zeolitas naturales.
- Finalmente, la zeolita natural que se utilizó para los análisis llegó a ser más eficiente y económico, en comparación con la zeolita sintética frente a la reducción o remoción del arsénico, evitando así cualquier daño para la salud humana.

## RECOMENDACIONES.

- Cuando se elimina el arsénico para producir agua potable, existen pocas opciones de tratamiento debido a las regulaciones que prohíben el uso de tecnologías que pueden cambiar significativamente la calidad del agua. En estos casos, el método de tratamiento preferido es utilizar hidróxido de hierro para la adsorción para eliminar selectivamente el arsénico sin cambiar la calidad del agua.
- Para poder obtener un buen resultado en la remoción del arsénico, es necesario tener presente contar con los materiales que usaran para los análisis como, por ejemplo, carbón activado de cascara de coco, arena activada, zeolita natural.
- Se deben realizar varias pruebas con agua de diferentes fuentes para observar la eficiencia de remoción de este elemento, debido a que el contenido de arsénico en estas aguas es diferente, especialmente en las aguas subterráneas. Dado que el arsénico es un problema nacional y mundial, deben continuarse las investigaciones sobre la eliminación de arsénico.
- Siempre que el contenido de aditivos cumpla tanto con el rendimiento de la mezcla como con los beneficios ambientales del uso de este recurso (zeolita), se puede usar zeolita natural en forma de arena. Este método se puede aplicar al agua de origen minero, debido al alto contenido de arsénico en diferentes procesos de producción.

## FUENTES DE INFORMACION

### Fuentes web:

- Fernando, L. (2005). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. Consultado el 20 de agosto del 2018, de <http://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- Gustavo, G. (2007). *Aguas y arsénico natural en Perú*. Consultado el 15 de diciembre del 2018, de [http://167.249.11.60/anc\\_j28.1/images/stories/comentariolibroggr.pdf](http://167.249.11.60/anc_j28.1/images/stories/comentariolibroggr.pdf)
- Jesús, T. (2013). *Adsorción de arsénico en medio acuoso*. Consultado el 10 de octubre del 2018, de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1152/1/trelles\\_bj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1152/1/trelles_bj.pdf)
- Organización Mundial de la salud, (2014). *Exposición al arsénico en el agua potable: una gran amenaza inadvertida para la salud en Perú*. Consultado el 5 de mayo del 2019, de <https://www.who.int/bulletin/volumes/92/8/13-128496-ab/es/>
- Lidia, T. (2017). *Evaluación de Arsénico en Aguas Subterráneas Contaminadas*. Consultado el 22 de noviembre del 2018, de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5020/Tapia\\_Callata\\_Lidia\\_Rut.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5020/Tapia_Callata_Lidia_Rut.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Referencia de un artículo de Revista en línea:

- Flérida, M. (2009, 4 de noviembre). *Adsorción de arsénico en zeolita natural pre tratada con óxidos de magnesio*. Consultado el 5 de marzo del 2019, de la base de Scielo,  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000400002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000400002)
  
- Gabriel, C. (2016, 6 de septiembre). *Estudio epidemiológico de arsénico en agua subterránea para consumo humano*. Consultado el 5 de enero del 2019, de la base de datos Scielo,  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432016000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432016000200003)
  
- María de Lourdes, R. (2005, 8 de agosto). *Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada*. Consultado el 15 de febrero del 2019, de la base de datos Zeocat,  
<http://www.zeocat.es/docs/aguaarsenico2.pdf>
  
- Medina, P. (2018, 17 de enero). *Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana*. Consultado el 25 de abril del 2019, de la base de datos Revista Peruana de medicina experimental y salud pública,  
<https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/3604/2993>

## ANEXOS.

### Anexo 1: Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General
¿Podrá desarrollarse una tecnología para la remoción de arsénico mediante el empleo de zeolitas naturales?	Remover el contenido de arsénico en diferentes clases de aguas con el empleo de zeolita natural.	El empleo de las zeolitas naturales en las distintas clases de aguas, si remueven el contenido de arsénico.
Variables - Indicadores		Tipo de investigación
<p><b><u>V. Independiente:</u></b></p> <p>Empleo de las zeolitas naturales.</p> <p><b><u>V. Dependiente:</u></b></p> <p>La cantidad del arsénico que van a remover de las distintas clases de agua.</p>	<p>Análisis del arsénico.</p> <p>Pruebas de adsorción.</p> <p>Estudio de que las zeolitas naturales remueven más cantidad de arsénico.</p> <p>Cantidad de arsénico eliminado.</p>	Experimental
<p><b>Problemas Específicos.</b></p> <p>¿De qué forma se acondicionará la zeolita natural para que adquiera una buena capacidad de adsorción del arsénico?</p> <p>¿Cuáles son los parámetros óptimos del proceso en donde la zeolita natural remueva el arsénico del agua?</p> <p>¿Existirá algún método para regenerar la zeolita natural y volver a emplearla?</p>	<p><b>Objetivos Específicos.</b></p> <p>Realizar el acondicionamiento para que la zeolita natural posea una buena capacidad de adsorción del arsénico.</p> <p>Determinar los parámetros óptimos del proceso en donde la zeolita natural remueva el arsénico del agua.</p> <p>Determinar un método alternativo para regenerar la zeolita natural y volver a emplearla.</p>	<p><b>Hipótesis Específicos.</b></p> <p>Las zeolitas naturales requieren de un acondicionamiento correcto para que posean una buena capacidad de captación del arsénico.</p> <p>Las zeolitas naturales requieren de parámetros óptimos de proceso para que puedan remover el arsénico.</p> <p>Una vez empleadas las zeolitas naturales para la remoción del arsénico en las distintas clases de agua pueden aplicarse métodos para regeneraras y reutilizarlas.</p>

**Anexo 2:** Matriz de operacionalización.

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<p><b>V. Independiente:</b></p> <p>Empleo de las zeolitas naturales.</p>	<p>Proceso operativo por el cual se emplea las zeolitas naturales para remover el arsénico y obtener un agua tratada.</p>	<p>Zeolitas naturales que tienen la capacidad de remover arsénico en agua.</p>	<p>Operativa</p>	<p>Análisis del arsénico.</p> <p>Pruebas de pH.</p> <p>Pruebas de adsorción del arsénico.</p>
<p><b>V. Dependiente:</b></p> <p>La cantidad del arsénico que van a remover de las distintas clases de agua.</p>	<p>Procedimiento cuantitativo por el cual se determinará la cantidad exacta de arsénico en el agua.</p>	<p>Captación del arsénico en diferentes clases de agua.</p>	<p>Cuantitativa</p>	<p>Cantidad de arsénico removido.</p>

**Anexo 3: Presupuesto.**

<b>Materiales</b>	<b>Costos (S/.): S/450.00</b>
Libros y revistas	S/150.00
Separatas	S/50.00
Útiles necesarios	S/50.00
Otros	S/200.00
<b>Servicios:</b>	<b>Costos (S/.): S/240.00</b>
Fotocopias	S/25.00
Impresión (4 juegos)	S/70.00
Anillado	S/15.00
Uso de internet publico	S/30.00
Otros	S/100.00
<b>Costo Total:</b>	<b>S/690.00</b>

## Anexo 4: Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	MAY (2018)	JUN (2018)	JUL (2018)	AGO (2018)	SEP (2018)	OCT (2018)	NOV (2019)	DIC (2019)	ENE (2019)	FEB (2019)	MAR (2019)	ABR (2019)	MAY (2019)	JUN (2019)	JUL (2019)	AGO (2019)
Elaboracion - Anteproyecto	X															
Elaboracion de marco teorico		X	X	X												
Revision y correcciones				X	X											
Recoleccion de datos					X	X	X									
Elaboracion de plan de trabajo							X	X	X	X						
Procesamiento de datos									X	X	X					
Revision y correcciones												X	X	X		
Analisis de resultados												X	X	X	X	
Tesis final																X