



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

MAY 2013



## "ELIMINACION DEL ARSENICO EN DIFERENTES CLASES DE AGUAS CON ZEOLITAS NATURALES".

RECIBI  
337  
CENT. CIENT.  
AGROPECUARIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
VICE-RECTORADO DE INVESTIGACION  
RECEBIDO  
HORA: 12.10  
FIRMA: [Signature]

AUTOR:

**ING. ROBERTO LAZO CAMPOSANO**

Período de ejecución:

(Inicio : 1-05-2011)

(Final: 30-04-2013)

R. N° 022-2011-IIIQ-FIQ (06-05-11)

R. N° 130-2011-CFAIQ (10-05-11)

R.N° 526-2011-R (30-05-2011)

my  
22/05/2013  
15.00h.  
108.

May  
15-05-2013  
14.00h.

2013

[Signature]

## INDICE

	Pág.
RESUMEN.....	1
I.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Descripción y Análisis del Tema.....	3
1.2 Planteamiento del Problema de Investigación .....	4
1.3 Objetivos y Alcances de la Investigación.....	4
1.3.1 Propósito de la Investigación : Objetivos.....	4
1.3.2 Alcances de la Investigación .....	5
1.4 Importancia y Justificación de la Investigación.....	5
1.4.1 Aporte científico y Tecnológico.....	5
1.4.2 Valor e la Investigación que se propone .....	5
1.4.3 Antecedentes Técnicos .....	6
II.- MARCO TEORICO.....	8
2.1 Desarrollo Histórico.....	8
2.2 Metalurgia de Minerales no Metálicos: Zeolitas .....	9
2.3 Características .....	10
2.3.1 Propiedades y estado natural del Arsénico.....	10
2.3.2 Descripción de las zeolitas naturales.....	15
2.3.3 Clasificación de las Zeolitas respecto al tamaño de los poros.....	17
2.3.4 Efectos del Arsénico sobre la salud.....	17
2.3.5 Envenenamiento por Arsénico.....	19
2.3.6 Efectos ambientales del Arsénico.....	20
2.3.7 Efectos contaminantes en los Alimentos.....	22



	<b>2.3.8 Aplicaciones.....</b>	<b>24</b>
	<b>2.3.9 Propiedades Físicas .....</b>	<b>28</b>
	<b>2.3.10 Propiedades Químicas.....</b>	<b>28</b>
	<b>2.3.11 Deshidratación - Rehidratación .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4</b>	<b>Especificaciones.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Coprodutos y Subproductos .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6</b>	<b>Regulaciones Ambientales .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7</b>	<b>Clasificación de las Zeolitas de acuerdo a las formas .....</b>	<b>32</b>
<b>III.-</b>	<b>MINERALOGIA.....</b>	<b>33</b>
	<b>3.1 Método de minado.....</b>	<b>34</b>
	<b>3.2 Procesamiento.....</b>	<b>34</b>
	<b>3.3 Usos.....</b>	<b>35</b>
	<b>3.4 Tamices Moleculares.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.-</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>36</b>
	<b>4.1 Materiales de Escritorio.....</b>	<b>36</b>
	<b>4.2 Materiales de Laboratorio .....</b>	<b>37</b>
	<b>4.2.1 Reactivos.....</b>	<b>37</b>
	<b>4.2.2 Metodología.....</b>	<b>38</b>
	<b>4.3 Procedimiento Experimental.....</b>	<b>39</b>
	<b>4.3.1 Pasos para la preparación de la muestra solución de</b>	
	<b>    Arsénico.....</b>	<b>39</b>
	<b>4.3.2 Pasos para el acondicionamiento de la zeolita sintética.</b>	<b>40</b>
	<b>4.3.3 Resultado del acondicionamiento de la zeolita sintética.</b>	<b>44</b>
	<b>4.3.4 Prueba de adsorción de Arsénico.....</b>	<b>44</b>



	4.3.5 Pasos para la filtración.....	45
	4.3.6 Cálculos.....	48
	4.3.7 Método de Tratamiento con zeolita natural.....	49
	4.3.8 Preparación de la zeolita pre preparada.....	50
	4.3.9 Diseño del Experimento.....	50
	4.3.10 Pruebas de adsorción.....	51
	4.4 Parte experimental.....	52
V.-	RESULTADOS.....	53
VI.-	DISCUSION.....	54
	6.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	54
	6.2 CONCLUSIONES.....	54
	6.3 RECOMENDACIONES.....	54
VII.-	REFERENCIALES .....	56
VIII.-	APENDICE.....	58
	8.1 LA ESTRUCTURA MOLECULAR DE ARSENATOS ( $AS^{+5}$ ) Y ARSENITOS ( $AS^{+3}$ ).....	58
	8.2 TOXICIDAD.....	59
	8.3 CONCENTRACIONES DE ARSENICO, SEGUN ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CUENCA DEL RIO RIMAC.....	60
	8.4 ESTACIONES DE MONITOREO.....	60
	8.5 POBLACION QUE BEBE AGUA CON ARSENICO.....	61
	8.6 TECNOLOGÍAS PARA LA ELIMINACIÓN DEL ARSÉNICO.....	61
	ANEXOS .....	65



## RESUMEN

Para el desarrollo del presente trabajo de Investigación se ha tenido la referencia sobre todo de las contaminaciones de las diferentes aguas sea este de origen natural, aguas subterráneas, aguas de río, aguas procedentes de lluvias, aguas de filtraciones, aguas de minas, etc, es decir toda clase de agua que contenga el arsénico que es perjudicial a la salud humana.

En el presente trabajo se utilizará un medio adsorbente que consiste de zeolita natural (clinoptilolita) recubierta con óxidos de hierro, a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales. La fijación de los óxidos de hierro en la superficie del material filtrante resulta en un medio de contacto efectivo para remover arsénico. Se ha realizado dos pruebas preparando una solución con una concentración de 1,000 ppm de contenido de arsénico dando un resultado de 7 ppm analizado por absorción atómica tratado con zeolita sintética, asimismo se hizo la prueba con concentraciones de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L filtrándolo luego con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado , obteniendo de ésta manera de 2 a 3 ppm de arsénico también hecha por espectrofotometría de absorción atómica.

## I. INTRODUCCION

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 Angstroms.

Se encuentra en la naturaleza como una zeolita proveniente de un mineral aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con  $\text{SiO}_4$  en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes.

La exposición crónica a través de la ingestión de agua contaminada con arsénico ocasiona lesiones cutáneas características tales como alteraciones de la pigmentación. Algunos estudios indican que el arsénico inorgánico se asocia con cáncer de piel y de órganos internos cuando es ingerido, además de enfermedades neurológicas y cardiovasculares.

Las emisiones a la atmósfera pueden incorporarse a suelos y aguas superficiales a través de procesos de depósito por vía seca o húmeda. Las fuentes naturales incluyen la lixiviación de minerales que contienen arsénico, que afecta principalmente a las aguas subterráneas.

En el agua los estados de oxidación más comunes del arsénico son As (V), o arsenato, y As (III), o arsenito. El As (V) prevalece en aguas superficiales mientras que es más probable encontrar especies de As (III) en aguas subterráneas anaerobias.

Las tecnologías usuales para remoción de este contaminante son coagulación-filtración, intercambio iónico, adsorción en alúmina activada y ósmosis inversa.



Como resultado permanece el interés por el desarrollo de nuevas técnicas para remover arsénico de aguas naturales que sean aplicables a las condiciones de nuestro país.

Los óxidos de hierro son excelentes adsorbentes de una gran variedad de especies químicas, incluyendo iones metálicos, aniones inorgánicos y algunos compuestos orgánicos. El inconveniente principal para usar óxidos de hierro puros en polvo para remover arsénico está asociado a la dificultad de separar estos óxidos de hierro saturados con arsénico de la fase acuosa y la regeneración o disposición de los lodos resultantes. Otra alternativa es su uso en forma granular empacado en columnas aunque tiene la limitante de ser un material con un alto peso específico que dificulta su manejo si se requiere fluidificar el lecho para su operación o limpieza.

Por otro lado, la zeolita con sus propiedades de intercambio de cationes puede ser un excelente soporte del recubrimiento de óxidos de hierro, es por esta razón que se eligió este mineral no metálico (zeolita clinoptilolita) para nuestra experiencia en el laboratorio, necesario para un filtro de aguas.

### **1.1 DESCRIPCION Y ANALISIS DEL TEMA :**

La presencia de arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua es indeseable por sus efectos negativos a la salud. Este trabajo presenta el empleo de un medio adsorbente que consiste en el uso de la zeolita natural (*clinoptilolita*) recubierta con óxidos de hierro, a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales.

La fijación de los óxidos de hierro en la superficie del material filtrante resulta en un medio de contacto efectivo para remover arsénico, que combina las ventajas de un filtro convencional con las de



un medio adsorbente, proporcionando un tratamiento en continuo, de bajo costo y relativamente fácil de operar.

Además, la zeolita natural con propiedades de intercambio de cationes es un excelente soporte de estos óxidos.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA :**

1.- Hay tecnología en el país, para la eliminación del arsénico con zeolitas naturales ?

## **1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION:**

### **a).- PROPOSITO DE LA INVESTIGACION :**

#### **1.- OBJETIVO GENERAL:**

1.1 Eliminar el contenido de arsénico en diferentes clases de aguas.

#### **2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

2.1 Desarrollar un procedimiento para preparar medios acondicionados artificialmente con una cubierta de óxidos de hierro tomando como base zeolita natural tipo clinoptilolita, el material obtenido debe poseer una buena capacidad de adsorción de arsénico.

2.2 Encontrar los parámetros de operación de un lecho de este material.

2.3 Identificar un método de regeneración del mismo.



**b).- ALCANCES DE LA INVESTIGACION:**

- 1.- El tipo de Investigación es Descriptiva y Analítica, teniendo como base los fundamentos los diferentes métodos de eliminación del arsénico de las diferentes clases de aguas.
- 2.- Los sectores que se verán beneficiados serán:  
  
La industria química, al desarrollar la tecnología de la eliminación del arsénico que es perjudicial para los diferentes procesos de producción.  
  
El consumidor del agua libre de arsénico, la agricultura que lo usa para regadíos.

**1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION:**

**1.4.1 Aporte Científico y Tecnológico:**

**1 Aporte Científico:**

El aprovechamiento del método de eliminación del arsénico utilizando la zeolita natural.

**2 Aporte Tecnológico:**

- 3 Conocimientos de diferentes tecnologías para eliminar el arsénico de las diferentes clases de aguas.

**1.4.2 Valor de la Investigación que se propone:**

1. Desarrollar la tecnología de eliminación del arsénico de tal forma que se aplique en las plantas de tratamiento de agua
2. Desarrollo de la industria química: aprovechando el agua libre de arsénico evitar problemas de contaminación en su producto



final sobre todo las industrias dedicadas a la producción de alimentos.

3. Proponer otras tecnologías relacionadas a la eliminación del arsénico de las diferentes clases de aguas.

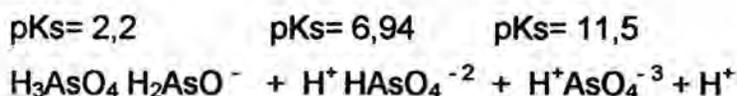
#### **1.4.3 ANTECEDENTES TECNICOS Y DATOS VINCULADOS A LA INVESTIGACION CON LA PRECISION DE LA FUENTE BIBLIOGRAFICA.**

a).- En el agua (aguas superficiales y subterráneas) el arsénico comúnmente se encuentra en estado de oxidación +5 (arsenato) y +3 (arsenito). En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico pentavalente o arsenato ( $As^{+5}$ ). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito ( $As^{+3}$ ). El arsenito se encuentra en solución como  $H_3AsO_3$ ,  $H_2AsO_3^-$ ,  $H_2AsO_4^-$  y  $H_2AsO_4^{-2}$  en aguas naturales con pH entre 5 a 9. El arsenato se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como  $H_3AsO_4$  en un rango de pH de 2 a 13. La conversión de  $As^{+3}$  a  $As^{+5}$  o viceversa es bastante lento. Los compuestos reducidos de  $As^{+3}$  pueden encontrarse en medios oxidados y los compuestos oxidados de  $As^{+5}$  en medios reducidos. Los microbios, plantas y animales pueden convertir todo estos compuestos químicos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos (comprometiendo átomos de carbono e hidrógeno).

#### **b).- LA ESTRUCTURA MOLECULAR DE ARSENATOS ( $As^{+5}$ ) Y ARSENITOS ( $As^{+3}$ )**

Los arsenatos tienen mayor capacidad de ionización debido a la presencia del doble enlace. La molécula que al perder el ión hidrógeno por la disociación, queda con carga negativa formando varios aniones según las ecuaciones:



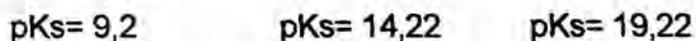


En aguas con altos niveles de oxígeno, el ( $As^{+5}$ ) (como  $H_3AsO_4$ ) se vuelve estable, existiendo las especies antes mencionadas, en un rango de pH de entre 2 a 13.

<b>pH</b>	<b>0 – 9</b>	<b>10 – 12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b><math>As^{+3}</math></b>	$H_3AsO_3$	$H_2AsO_3^-$	$H_3AsO_3^{-2}$	$AsO_3^{-3}$
<b>pH</b>	<b>0 - 2</b>	<b>3 – 6</b>	<b>7 - 11</b>	<b>12 – 14</b>
<b><math>As^{+5}</math></b>	$H_3AsO_4$	$H_2AsO_4^-$	$H_3AsO_4^{-2}$	$AsO_4^{-3}$

Estabilidad y predominio de las especies de arsénico variando los rangos de pH en el medio acuático.

Como resultado de la disociación del ácido arsenioso característico en aguas subterráneas con pH mayor de 7, el arsénico se pueden presentar en alguna de las siguientes formas:



c).- Bajo condiciones anóxicas, aún a pH por encima de 7 el arsénico se estabiliza en especies dominantes no iónicas.

Los arsenatos y arsenitos se disocian a un pH muy diferente. En un rango de pH entre 6,5 y 8,5 característico del agua natural, las formas predominantes de arsenato y arsenitos son:  $H_2AsO_4^-$ ;  $HAsO_4^{2-}$ ; y  $H_2AsO_3^-$ .



#### **1.44 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1).- **CRITES TCHOBANOGLIOUS RON.**-Tratamiento de Aguas Residuales - - Mc Graw Hill – 2001.
- 2).- **UNDA FRANCISCO O.**- Teoría y Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Departamento de Publicaciones de la Universidad Católica de Chile- 1963.
- 3).- **LETTERMAN RAYMOND** Calidad y Tratamiento del Agua - Manual de Suministros de Agua Comunitaria -American Water Works Association - - Mc Graw Hill Profesional 2002.

### **I MARCO TEORICO**

#### **2.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA ZEOLITA**

El primer tamiz molecular con estructura ordenada fue descrito en 1756 por Cronsted. Este material fue el mineral estilbita, que dio lugar a una nueva clase de materiales: *las zeolitas*. Cronsted definió las zeolitas como aluminosilicatos hidratados de elementos alcalinos o alcalinotérreos.

La estructura ordenada de las zeolitas deshidratadas, junto con su elevada área superficial interna disponible para adsorción selectiva de moléculas, convierte a estos materiales en unos perfectos tamices moleculares.

En 1862 se describió la primera síntesis hidrotermal de una zeolita, la levynita, y desde entonces se han obtenido numerosas zeolitas sintéticas. Unión Carbide introdujo las zeolitas para separaciones de intercambio iónico. A finales de los años 70, explorando nuevas composiciones de óxidos fuera de las ya conocidas en zeolitas y tamices moleculares de Si, investigadores de Unión Carbide descubrieron una nueva familia de tamices



moleculares. Revisando la tabla periódica, y basándose en los principios de la química del cristal de los óxidos conocidos, los primeros elementos que se estudiaron como cationes tetraédricos fueron el Al y el P.

## 2.2 METRALURGIA DE MINERALES NO METALICOS: ZEOLITAS

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 Angstroms.

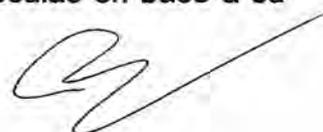
También se dice, que una zeolita es un mineral aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con  $\text{SiO}_4$  en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas proveen aspectos únicos para una variedad amplia de aplicaciones prácticas.

Según Breck (1974) las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

1. Alto grado de hidratación.
2. Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
3. La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
4. Las propiedades de intercambio del catión.
5. Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
6. Por su habilidad de absorber gases y vapores.
7. Por sus propiedades catalíticas.

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares, que son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas en base a su



tamaño, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares.

## 2.3 Características.

### 2.3.1 Propiedades y Estado Natural del Arsénico

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico es 33. El Arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de  $5 \cdot 10^{-4}$  % de la corteza terrestre).

Existen tres alótropos o modificaciones polimórficas del arsénico:

1. El arsénico gris metálico (forma  $\alpha$ ) es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico, su densidad es de  $5,73 \text{ g/cm}^3$ , es deleznable y pierde el lustre metálico expuesto al aire.
2. El arsénico amarillo (forma  $\gamma$ ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría muy rápidamente. Es extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico y presenta **fosforescencia** a temperatura ambiente.
3. Una tercera forma alotrópica, el arsénico negro (forma  $\beta$ ) de estructura hexagonal y densidad  $4,7 \text{ g/cm}^3$ , tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas descritas y se obtiene en la descomposición térmica de la **arsina** o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico.

Todas las formas alotrópicas excepto la gris carecen de lustre metálico y tienen muy baja conductividad eléctrica por lo que el



elemento se comportará como metal o no metal en función, básicamente, de su estado de agregación.

**Foto N° 1**

**Heulandita:  $(\text{Na}_2\text{Ca})_{2-3}\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{SiO}_3)_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$**



Fuente: [www.mineral-s.com/tienda/](http://www.mineral-s.com/tienda/)

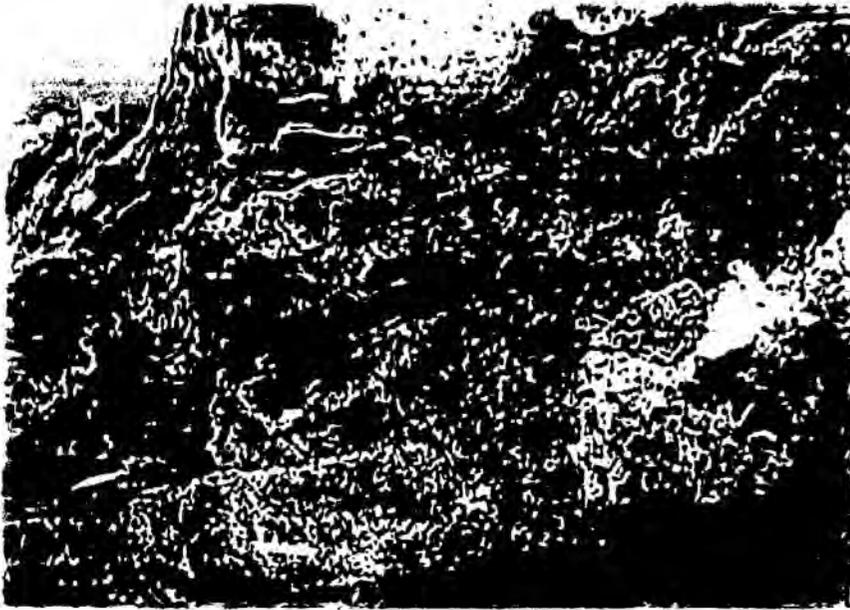
**Foto N° 2**

**ARSENOPIRITA**



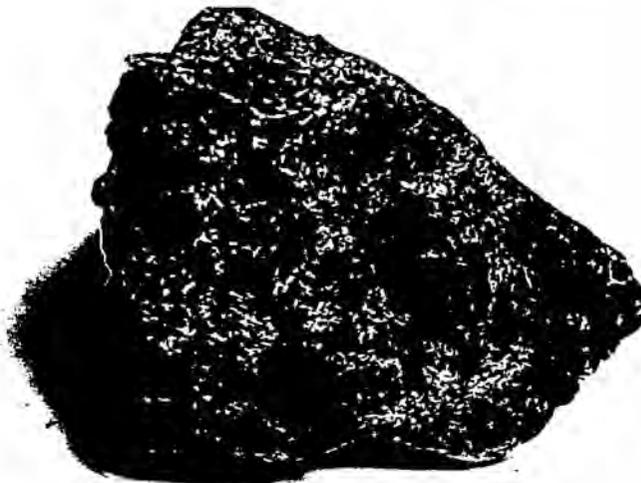
Fuente: [www.mineral-s.com/tienda/](http://www.mineral-s.com/tienda/)

Foto N° 3  
ARSENICO



Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/)

Foto N° 4  
ESMALTITA: (Co,Fe,Ni)As<sub>2</sub>



Fuente: [www.fotominer.com](http://www.fotominer.com)FOTOMINER/RECOPILATOR

El arsénico se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en las superficies de las rocas combinado con azufre o metales como sulfuros polimetálicos conjuntamente con: Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.

El principal mineral del arsénico es el FeAsS (Arsenopirita); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs<sub>2</sub> (Iölingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorffita) y CoAs<sub>2</sub> (esmaltita). Los arseniatos y tioarseniatos naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico.

Químicamente el arsénico se encuentra entre los metales y los no metales. Sus propiedades responden a su situación dentro del grupo al que pertenece (nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto). El arsénico ocupa el lugar 52 en abundancia entre los elementos naturales de la corteza terrestre. Cuando se calienta, se sublima, pasando directamente de sólido a gas a 613° C.

El arsénico se conoce desde la antigüedad. El elemento puro puede prepararse fácilmente calentando un mineral común llamado arsenopirita (FeAsS). Otros minerales comunes son el rejalgal (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>); el oropimente (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>); y el trióxido de arsénico (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

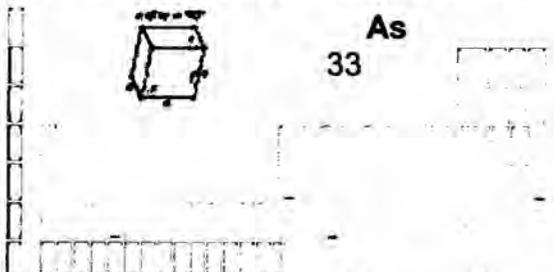
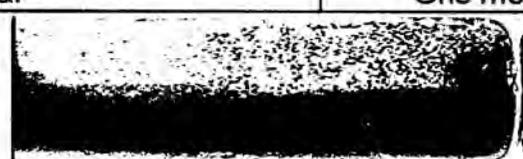
Durante la fundición de la calcina de cobre en los hornos reverberos se genera las escorias, donde es eliminado en forma de impurezas constituyendo el Arsénico los Arseniuros que flota en la superficie de la mata de cobre razón por lo que tiene que ser escorificado eliminado como impureza del cobre.

El arsénico durante la refinación del zinc, también genera problemas polarizando el proceso electrolítico, generando una redisolución del depósito del zinc del cátodo, disminuyendo por lo tanto la producción del metal.



CUADRO N° 1

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ARSENICO

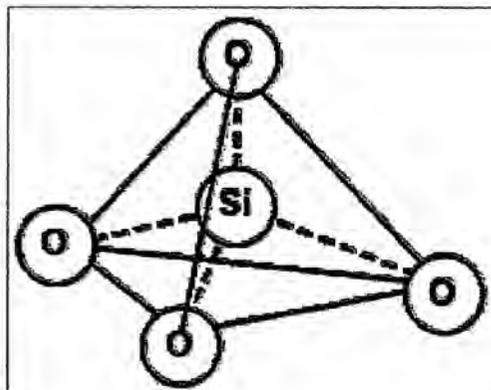
<b>ARSÉNICO</b>	
Germanio ← <b>Arsénico</b> → Selenio	
P As Sb	
Información general	
Nombre, símbolo, número:	Arsénico, As, 33
Serie química:	Metales
Grupo, período, bloque:	15, 4, p
Densidad:	5727 kg/m <sup>3</sup>
Dureza Mohs:	3,5
Apariencia:	Gris metálico
	
N° CAS	7440-38-2
N° EINECS	231-148-6
Propiedades atómicas	
Masa atómica	74,92160 u
Radio medio	115 pm
Radio atómico (calc)	114 pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	119 pm
Radio de van der Waals	185 pm
Configuración electrónica	[Ar]4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 4p <sup>3</sup>
Electrones por nivel de energía	2, 8, 18, 5 (imagen)
Estado(s) de oxidación	±3,5
Óxido	Levemente ácido
Estructura cristalina	Romboédrica
Propiedades físicas	
Estado ordinario	Sólido
Punto de fusión	887 K
Punto de ebullición	1090 K
Entalpía de vaporización	369,9 kJ/mol
Entalpía de fusión	34,76 kJ/mol



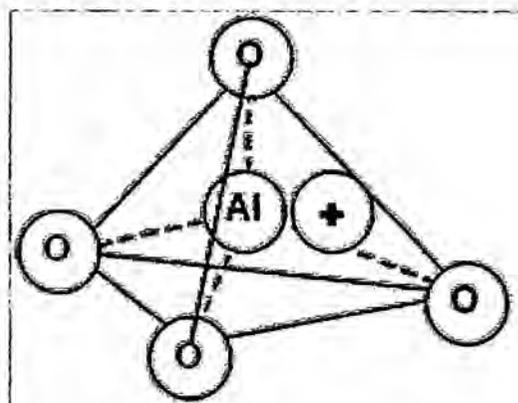
### 2.3.2 DESCRIPCION DE LAS ZEOLITAS NATURALES:

Las zeolitas son aluminosilicatos formados por redes cristalinas tridimensionales compuestas 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. En la figura se presenta las unidades estructurales básicas y en la siguiente tabla los principales tipos de zeolitas naturales.

- a. Tetraedro con átomo de Si en el centro y oxígenos en los vértices

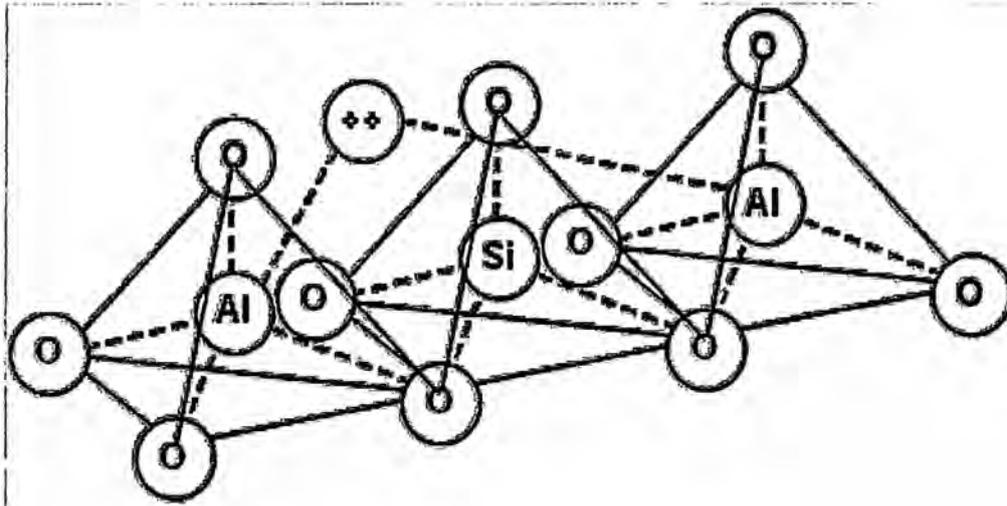


- b. Tetraedro con átomo de Al en el centro y un catión monovalente



- c. Cadena múltiple de tetraedros, cationes bivalentes cada dos centros de Al





**CUADRO N° 2: PRINCIPALES MINERALES DEL ARSENICO**

Nombre	Fórmula Química
Laumontita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Clinoptilolita	$(\text{Na, K, Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al, Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Na Ca}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Phillipsita	$(\text{K, Na, Ca})_{1-2} (\text{Si, Al})_8 \cdot \text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Heroinita	$(\text{K}_2, \text{Ca, Na}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Ofertita	$(\text{K}_2, \text{Ca})_5\text{Al}_{10}\text{Si}_{26}\text{O}_{72} \cdot 30\text{H}_2\text{O}$
Faujazitita	$(\text{Na}_2\text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Chabazita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Natrolita	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Thomsonita	$\text{Na Ca}_2\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Mordenita	$(\text{Ca, Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Epistilbita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Analcima	$\text{Na, AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Heulandita	$(\text{Na, Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al, Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Las zeolitas naturales tienen propiedades de porosidad, adsorción e intercambio iónico. La porosidad se refiere, a que las zeolitas están formadas por canales, cavidades regulares y uniformes de diámetros de dimensiones moleculares (3 a 10 nm), haciendo que las zeolitas presenten 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 posee, hace que los átomos que se encuentran en la superficie, no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos situados en el seno del sólido. La propiedad de intercambio iónico que presentan las zeolitas es característica de otros silicatos cristalinos como arcillas y feldespatos. Está directamente relacionada con el Aluminio presente en la red zeolítica.

### 2.3.3 CLASIFICACION DE LAS ZEOLITAS RESPECTO AL TAMAÑO DE LOS POROS.-

Conociendo el número de átomos que forman los anillos ó poros por los cuales se penetra al espacio intracristalino, las zeolitas se clasifican de acuerdo como se presenta en el siguiente cuadro:

**TABLA N° 2 CLASIFICACION DE LAS ZEOLITAS POR EL TAMAÑO DE LOS POROS**

Zeolita	Átomos de O que forman la abertura	Diámetro de poro $\theta$ (Å)	Ejemplos
Poro extragrande	18	$\theta > 9$	MCM-9, VPI-5
Poro grande	12	$6 < \theta < 9$	Y, $\beta$ , $\Omega$
Poro mediano	10	$5 < \theta < 6$	ZSM-5, ZSM-11
Poro pequeño	8	$3 < \theta < 5$	Erionita, A

### 2.3.4 Efectos del Arsénico sobre la salud

El Arsénico es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico



inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.

Los niveles de Arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de Arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben Arsénico del agua donde viven. Por suerte esto es mayormente la forma de Arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de Arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana.

La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado. La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres.

Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.



### 2.3.5 Envenenamiento por Arsénico

Agua contaminada



Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl)

Verrugas



Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl)

A handwritten signature or mark in the bottom right corner of the page.

### **2.3.6 Efectos Ambientales del Arsénico**

El Arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

El Arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos salubre en agua o volátil. En realidad el Arsénico es esencialmente móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico.

Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por Arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este.

El Arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el Arsénico inmóvil se ha movilizó también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

El ciclo del Arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de Arsénico terminan en el Ambiente y en organismos vivos. El Arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura.

Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el Ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.



Las plantas absorben Arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces.

Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

### **La actividad industrial y minera supone una preocupación importante en Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica**

Chimenea de una fundición de minerales. Gases que  
Contienen plomo y arsénico



Fuente: Revista de Centrominperú

Chimenea de una fundición de minerales. Gases que  
Contienen plomo y arsénico

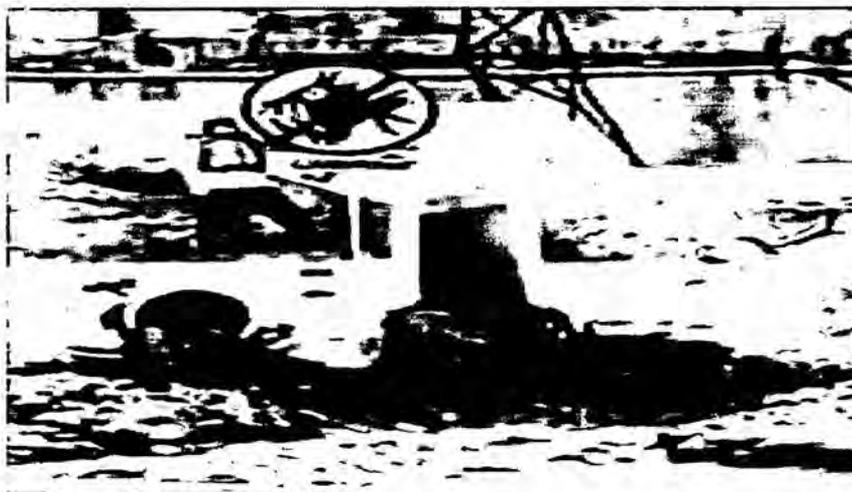
Emisión de Gases de una fundición de minerales  
Contiene: plomo – arsénico – partículas finas.





Fuente: Revista de Centrominperú

#### **Efluente con contenido de arsénico**



Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl)

#### **2.3.7 Efectos contaminantes en alimentos**

En el caso del arsénico detectaron que casi un millón de personas consumen agua contaminada con más de 50 microgramos por litro, cuando el límite máximo son 10

**Peces contaminados por Arsénico**

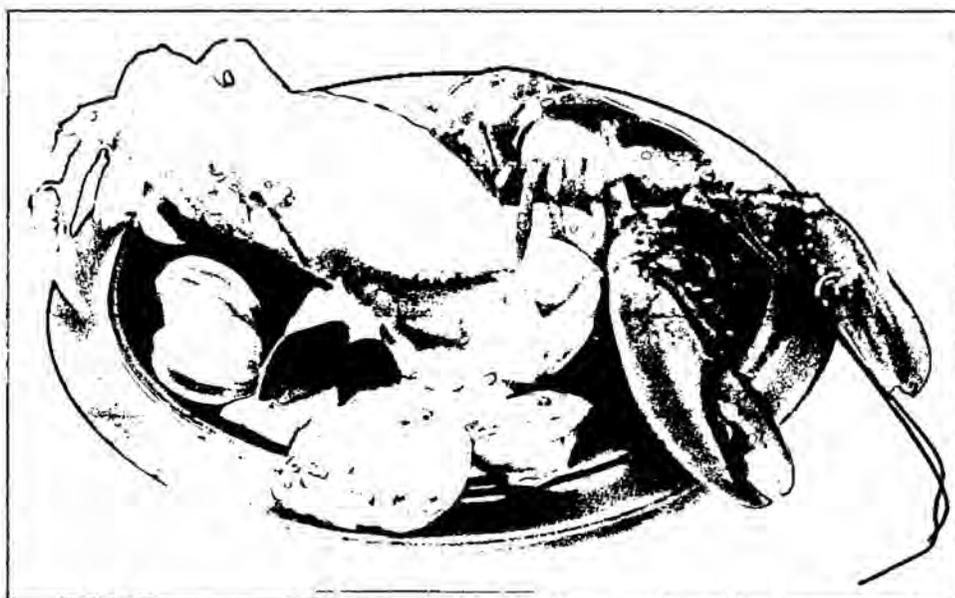


**Ríos contaminados por el Arsénico**



**Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/)**

**Alimentos del mar contaminados con arsénico**



**Fuente: [www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/](http://www.google.com.pe/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/)**

**El arsénico puede encontrarse en alimentos como:**

A large, stylized handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.

- ❖ La comida de mar (especialmente en bivalvos [almejas, ostras, ostiones, mejillones], crustáceos [cangrejos, langostas], y en ciertos peces de aguas frías que se alimentan en el fondo marino, así como en algas marinas/«kelp».
- ❖ Las formas orgánicas de arsénico que se encuentran en la comida de mar (principalmente la arsenobetaina y la arsenocolina, también conocidas como "arsénico de los peces") generalmente se consideran no tóxicas, y se excretan en la orina 48 horas después de haber sido ingeridas (ATSDR 2007).
- ❖ No obstante, se han encontrado algunos tipos de arsénico inorgánico en algunos tipos de algas. Existen referencias recientes sobre la presencia de muy altos niveles de arsénico inorgánico (MMA) en las algas hijiki (Rose et al.2007).

### **2.3.8 Aplicaciones**

El arsénico se usa en grandes cantidades en la fabricación de vidrio para eliminar el color verde causado por las impurezas de compuestos de hierro. Una carga típica en un horno de vidrio contiene un 0,5 % de trióxido de arsénico. A veces se añade al plomo para endurecerlo, y también se usa en la fabricación de gases venenosos militares como la lewisita y la adamsita.

Hasta la introducción de la penicilina, el arsénico era muy importante en el tratamiento de la sífilis. En otros usos médicos ha sido desplazado por las sulfamidas o los antibióticos. Los arseniatos de plomo y calcio se usan frecuentemente como insecticidas. Ciertos compuestos de arsénico, como el arseniuro de galio (GaAs), se utilizan como semiconductores.

El GaAs se usa también como láser. El disulfuro de arsénico (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>), conocido también como oropimente rojo y rubí arsénico, se usa como pigmento en la fabricación de fuegos artificiales y pinturas.



El arsénico es venenoso en dosis significativamente mayores a 65 mg, y el envenenamiento puede producirse por una única dosis alta, pero también por acumulación progresiva de pequeñas dosis repetidas, como, por ejemplo, la inhalación de gases o polvo de arsénico. Por otra parte, algunas personas, que ingieren arsénico en las montañas del sur de Austria, han descubierto que el arsénico tiene un efecto tónico, y han desarrollado cierta tolerancia hacia él que les permite ingerir cada día una cantidad que normalmente sería una dosis fatal.

Sin embargo, esta tolerancia no les protege contra la misma cantidad de arsénico administrada hipodérmicamente.

A menudo es importante contar con un test fiable que detecte la presencia de cantidades pequeñas de arsénico, porque el arsénico, aun siendo un veneno violento, es ampliamente usado y, por tanto, es un contaminante muy difundido. La prueba de Marsh, llamado así por su inventor, el químico inglés James Marsh, proporciona un método simple para detectar trazas de arsénico tan mínimas que no podrían descubrirse con un análisis ordinario. La sustancia a analizar se coloca en un generador de hidrógeno, y el arsénico presente se convierte en arsenamina ( $\text{AsH}_3$ ), que se mezcla con el hidrógeno.

Si el flujo de hidrógeno se calienta mientras pasa por un tubo de vidrio, la arsenamina se descompone, y el arsénico metálico se deposita en el tubo. Cantidades mínimas producen una mancha apreciable. Utilizando la prueba de Marsh se pueden detectar cantidades tan mínimas como 0,1 mg de arsénico o de antimonio.

- En la fabricación de vidrio para eliminar el color verde causado por las impurezas de compuestos de hierro.





- En la fabricación de gases venenosos militares como la lewisita y la adamsita.



- En la fabricación de fuegos artificiales y pinturas.



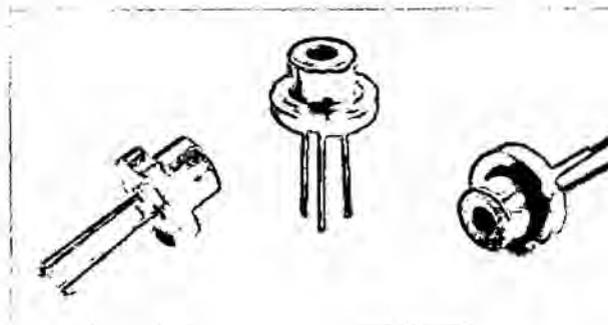
- Aditivo en aleaciones de plomo y latones.



- Preservante de la madera (arseniato de cobre y cromo), uso que representa, según algunas estimaciones, cerca del 70% del consumo mundial de arsénico.



- El arseniuro de galio es un importante material semiconductor empleado en circuitos integrados más rápidos, y caros, que los de silicio. También se usa en la construcción de diodos láser y LED.



pruebas (ASTM) ha establecido métodos, pruebas y especificaciones estándares para la zeolita en los E.U.

Las especificaciones y pruebas en Europa y en Japón se hacen conjuntamente por las compañías productoras. Los productores de zeolita dividen de dos maneras las especificaciones: la venta del mineral en base a especificaciones negociadas con el comprador, o la venta del mineral en base a una línea de productos, donde cada producto de zeolita, tienen una designación de nombre o número con especificaciones físicas y/o químicas. Los productos de la zeolita se venden usualmente con un nombre comercial en lugar de una variedad de mineral. Por ejemplo, la clinoptilonita.

## **2.5 Coproductos y subproductos.**

Los depósitos que contienen dos o más zeolitas pueden generar varios productos o mezclas de los minerales de zeolita presente. Por ejemplo, los productos de zeolita desde las minas de Itaya en Japón, fuente de clinoptilonita y mordenita, incluye productos de mordenita, clinoptilonita y una mezcla entre los dos minerales de mordenita-clinoptilonita dependiendo de la selectividad del minado y del proceso de beneficio. El minado de zeolitas puede generar bentonita como un subproducto o coproducto.

## **2.6 Regulaciones ambientales.**

Las zeolitas naturales son relativamente inocuas y no presentan problemas ambientales particulares, con tres excepciones:

- a) Varios minerales de zeolita tienen formas fibrosas y pueden comportarse como materiales de asbesto.
- b) Los cristales de silicio fino se generan usualmente en depósitos de zeolita y los productos finos pueden ser respirados (0.1%).



- c) El minado de la zeolita y las plantas procesadoras secas tienden a generar polvos, ocasionando problemas en la calidad del aire.

El polvo generado en la planta y el minado pueden considerarse como un contaminante ambiental local. La mayoría de las zeolitas contienen sílice en forma de sílice amorfa o cristalino. Las plantas procesadoras, pueden por lo tanto requerir de un sistema eficiente para controlar la contaminación del aire, que van desde la norma Benhouse en donde se utilizan colectores de polvo a precipitadores electrolíticos para minimizar la exposición de los trabajadores con estos polvos en el almacén del mineral o en los molinos; y para cumplir con los requerimientos locales de control de calidad del aire. La mayoría de las zeolitas se producen usando métodos de procesamientos secos. El procesamiento de las zeolitas se inclina inevitablemente hacia procesos de lavados con agua y métodos húmedos de clasificación, requiriendo para esto un estanque de desperdicio o presa de jales y una manipulación apropiada de la planta.

Los minerales de zeolita son considerados generalmente por ser químicamente inertes, y la mayoría no son fibrosas. La erionita se establece como un mineral fibroso, mineral a circular y puede ser marcada como un posible carcinógeno en base a los estudios médicos, la modestia es también un mineral fibroso pero no es remarcado como un carcinógeno potencial.

## **2.7 Clasificación de las Zeolitas de acuerdo a las formas:**

La formación 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 tres consideraciones físicas que fuertemente afectan la alteración zeolítica.

Muchas zeolitas en rocas sedimentareas son formadas por cenizas volcánicas u otros materiales piro clásticos por reacciones de amorfos con



otros originados por la alteración de feldespatos preexistentes, feldespatoides, sálica piogénica, o minerales de arcilla pobremente cristalizados.

Las zeolitas son rocas sedimentarias son formadas probablemente por medio de reacciones de disolución – precipitación. Basándose en el marco geológico de las zeolitas, mineralogía y génesis.

Los depósitos de zeolitas han sido clasificados en los siguientes tipos:

- 1) **Sistemas Cerrados.**- Depósitos formados por materiales volcánicos en sistemas hidrológicamente cerrados, sistemas salinos- alcalinos.
- 2) **Sistemas Abiertos.**- Son depósitos formados en sistemas hidrológicamente abiertos. Logos de agua dulce.
- 3) **Metamórficos boriales.**- Depósitos formados por bajo grado de metamorfismo burial.
- 4) **Hidrotermales.**- Depósitos formados por sistemas hidrotermales o por la actividad de brotes calientes.
- 5) **Marítimas profundos.**- Depósitos formados por un medio marítimo profundo.
- 6) **Zonas Erosionadas por la Interperie.**- Depósitos formados en tierras, más comúnmente de materiales volcánicos.

### III.- MINERALOGIA.

Las zeolitas ocurren en una variedad de marcas geológicas, en su mayor parte como alteraciones de minerales antigénicos, bajo temperatura y presión como minerales en sistemas metamórficos, minerales secundarios en zonas erosionadas por la intemperie o en venas. Las zeolitas comerciales están actualmente limitados por marcos antigénicos y finalmente en alteraciones 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 clinoptolonita son las más abundantes. Las 9 zeolitas muestran un considerable rango de contenido de cationes y radio de Si:Al. Excepto por la huelandista y la laumontita, estos generalmente son alcalinos y más siliciosos que sus contrapartes en rocas ígneas.



El potencial comercial de minerales de zeolitas está limitado por 5 de las mencionadas: La chabazita, la clinoptilolita, la erionita, la mordenita y la filipsita. Estas son unas de las más comunes y más abundantes en la naturaleza y tienen una favorable capacidad de intercambio de ion absorbancia y tamizado molecular.

La ferrierita y la faujasita son también potenciales económicas pero estas son poco comunes y son conocidos en muy pocos sitios en el mundo.

### **3.1 Método de minado.**

A causa de su bajo costo de proceso, las zeolitas sedimentarias son minadas por métodos a cielo abierto. La excavación se lleva a cabo por equipo convencional para remover la tierra. Este minado minimiza costos, como lo es el uso de explosivos, el equipo para la remoción de la tierra y el cargado directo a los camiones de carga para que el mineral minado sea transportado a una planta de procesamiento. Las variaciones en la calidad de la mena pueden ser manejados por un minado selectivo.

El control de calidad es determinado por muestreos por medio de brocas, tomando muestras periódicas, evaluando visualmente el material en el mismo sitio, y sacando muestras sistemáticas de los camiones de carga.

### **3.2 Procesamiento.**

Las zeolitas naturales son vendidas como productos triturados y cribados, finalmente como pulverizados o micronizados a productos ultrafinos. El producto triturado y cribado de estos materiales es de bajo costo y es usado en aplicaciones simples como son: acondicionamiento de suelos o como vivienda de animales domésticos, que toleran un equitativo y amplio rango de tamaño de partícula. Muchas zeolitas son trituradas, pulverizadas y clasificadas en un rango de tamaño de -60 a +325 mallas. Micronizando productos tan finos de 5 a 10 mm y ultra



finos como de 1 mm los cuales son preparados para usos especiales (papel filtro).

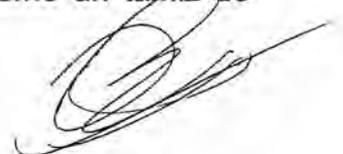
El desempeño de las zeolitas naturales puede incrementarse lavándose con ácido y solución de NaCl para subir los contenidos de iones de H<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> respectivamente. Los productos de clinoptilolita son particularmente incrementados en la capacidad de intercambio iónico por lavado para reemplazar los iones de K<sup>+</sup> por iones de Na<sup>+</sup>. En Bowi, Az, los productos de chabazita son usualmente aglomerados y ligeramente calcinados para reducir su friabilidad total.

### **3.3 USOS:**

- a) En la agricultura como acondicionador y fertilizante de suelos.
- b) En la nutrición de animales. Da eficiencia en el desarrollo del ganado haciendo decrecer el agua amoniacal en el sistema digestivo (la clinoptilolita).
- c) Acuicultura.
- d) Catálisis y refinado del petróleo.
- e) Gasificación del carbón.
- f) Separación de gases.
- g) Intercambio iónico.
- h) Purificación del gas natural.

### **3.4 TAMICES MOLECULARES.**

La primera aplicación de las zeolitas salta a los ojos. Es obvio que si un gas o un líquido están compuesto por dos tipos de moléculas, unas más grandes que las otras, y si disponemos de una zeolita cuyos poros o ventanas tengan un tamaño intermedio entre las moléculas pequeñas y las grandes, sólo las primeras entrarán en la zeolita, mientras que las segundas seguirán su camino. Así se habrán separado un componente de otro: la zeolita actúa como un tamiz de



moléculas. Fue J. McBain quien informó esta propiedad y acuñó de paso el término tamiz (o malla) molecular, pero fue R.M. Barrer quien en los años 40, en Inglaterra, demostró por primera vez que las zeolitas se comportaban como mallas moleculares. Con la síntesis de zeolitas en los 50, las separaciones previamente demostradas en el laboratorio Unión Carbide lanzó al mercado, a principios del 54, adsorbentes basándose en zeolitas y, la División Linde, implantó su uso industrial para obtener argón de alta pureza. En efecto, la molécula de argón es ligeramente mayor que el oxígeno y no consigue entrar en la zeolita tipo 4 A a baja temperatura. Otra de las primeras separaciones a nivel industrial fue la utilización de zeolita 4 A para separar trazas de agua en la sustancia congelante de los refrigeradores caseros, aplicación que aún se mantiene.

Hoy se insiste con razón en que los términos zeolita y tamiz molecular no son realmente sinónimos. En realidad para ser tamiz molecular no es necesario que el material sea un aluminosilicato cristalino con una red abierta que permita el intercambio de iones y una deshidratación reversible, como es el caso de la zeolita.

#### **IV MATERIALES Y METODOS:**

##### **4.1 MATERIALES DE ESCRITORIO:**

Para la elaboración del presente trabajo de Investigación se ha utilizado los siguientes materiales :

- Papel bond.
- Lápices, lapiceros.
- Disquetes.
- Discos CD.s
- Computadora.
- Libros de la especialidad.
- Internet.



- Fotografías.
- Máquina fotográfica.
- Folders.
- Fotostáticas
- Sobres.
- Engrapadora y grapa

#### 4.2 MATERIALES DE LABORATORIO:

- Pipetas aforada dde 10 mL
- Soporte Universal
- Agarraderas
- Balanza eléctrica digital ; ( 0.01 g/div.)
- Vasos de precipitado
- Matraz aforado de 50, 100 , 250 y 500 mL.
- Probeta de 50 mL
- Mechero Bunsen
- Trípode

##### 4.2.1 REACTIVOS:

- Agua bidestilada
- Sulfato de Plata  $\text{SO}_4\text{Ag}_2$
- Zeolita sintética
- Zeolita natural pulverizada
- Arseniato ácido de sodio:  $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Acido 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.



#### **4.2.2 METODOLOGIA :**

La investigación ha sido desarrollado experimentalmente así como bibliográfico, descriptivo, y análisis de los métodos.

El desarrollo de la investigación ha sido como sigue :

- Recopilación bibliográfica.
- Recopilación de datos teóricos de las principales características de las diferentes clases de aguas conteniendo arsénico

#### **METODOS DE INVESTIGACION:**

Se hará dos pruebas :

- El método de la zeolita sintética y el método de la zeolita natural. Se tendrá en cuenta los 2 estados de valencia, el arsenito As (III) que es el más dificultoso para el tratamiento, debido a que tiene una carga neutra, pero 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 ambos 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 contenido de arsénico.

#### 4.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

En primer lugar se tratará con zeolita sintética:

##### 4.3.1 PASOS PARA LA PREPARACIÓN DE LA MUESTRA SOLUCIÓN DE ARSÉNICO

(1)

Preparar 250ml de una solución de arsenito ( $[\text{AsO}_3]^{-3}$ ) con una concentración de 1000 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).

Foto N° 1

(1.1)

Disolver 0.02 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 2.5ml de agua destilada.

(Foto N° 1)

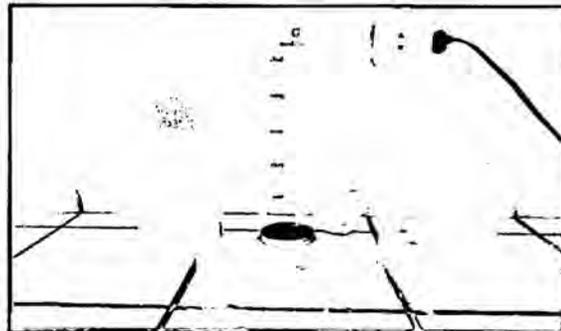


Foto N° 2

(1.2)

Agregar 0,0066 g de trióxido de arsénico a la solución anterior.

Fotos : 2-3-4



Foto N° 3

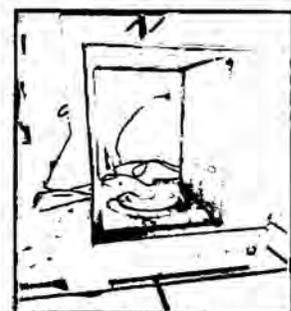


Foto N° 4



Foto N° 5

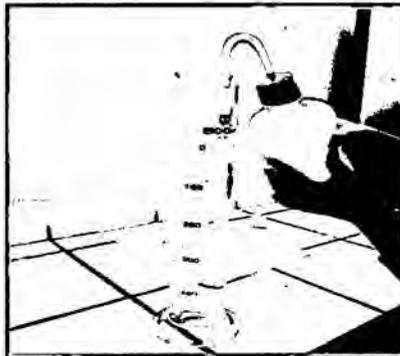
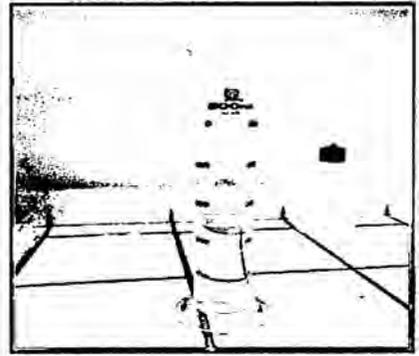


Foto N° 6



(1.3)  
Enrasar la solución  
anterior a 250ml,  
logrando una  
concentración de 20  
mg/L de As  
Fotos ; 5 y 6

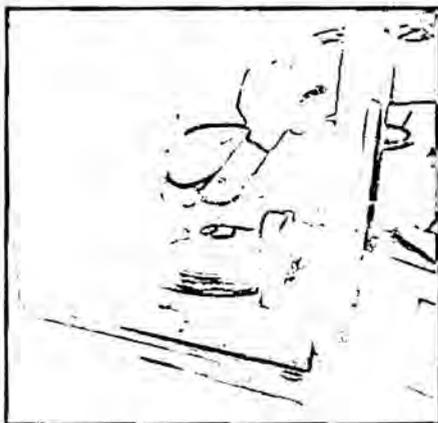
#### 4.3.2 PASOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA ZEOLITA SINTETICA

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

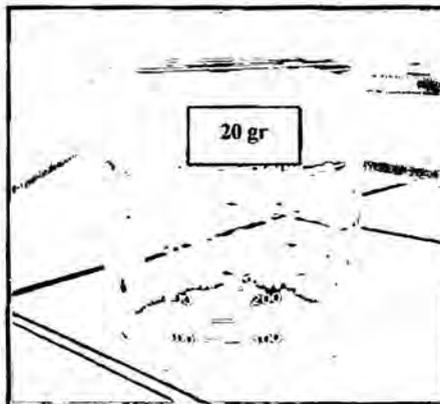
**PASOS A SEGUIR:**

**(1)**  
**Pesar 60gr de zeolita.**  
**Fotos: 7 y 8**

**Foto N° 7**

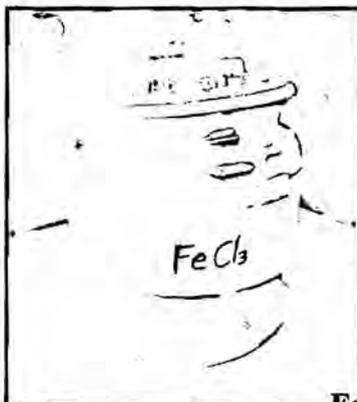


**Foto N° 8**



**(2)**  
**Preparar una solución de FeCl<sub>3</sub> al 0.5M.**

**Foto N° 9**



**Foto N° 10**



**(2.1)**  
**Pesar 0.5gr de FeCl<sub>3</sub>**  
**Fotos; 9 y 10**

**Foto N° 11**

**(2.2)**  
**Agregar el FeCl<sub>3</sub> a la zeolita.**  
**Foto ; 11**

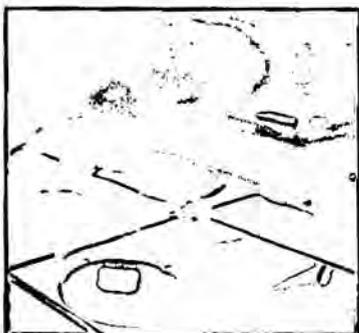


Foto N° 12



Foto N° 13



(2.3)  
Enrasar a 60ml con agua  
destilada y agitar.  
Fotos: 12 y 13

Foto N° 14



Foto N° 15



(3)  
Llevar la solución a una estufa  
a 100°C hasta completa  
evaporación.  
Fotos; 14-15-16 y 17

Foto N° 16

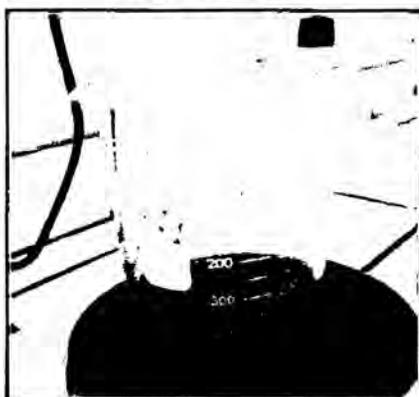
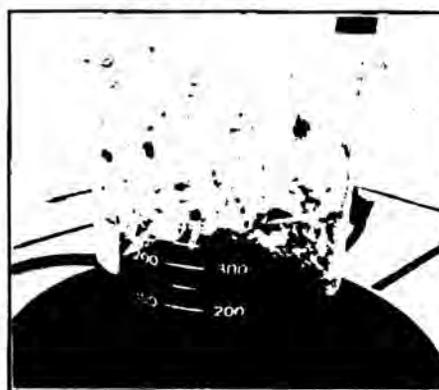


Foto N° 17



A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.

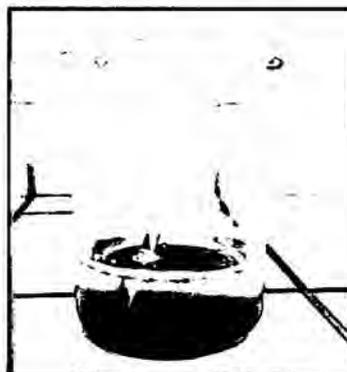
**(4)**  
**Dejar enfriar y lavar con agua desionizada y filtrar por un embudo con papel filtro.**

**Fotos:, 18-19 y 20**

**Foto N° 18**



**Foto N° 19**



**Foto N° 20**



**Foto N° 21**

**(5)**  
**Finalmente secar la zeolita a temperatura ambiente y guardarla hasta su posterior utilización.**

**Fotos; 21 - 22**



**Foto N° 22**



### 4.3.3 RESULTADO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA ZEOLITA

*Antes del  
acondicionamiento*

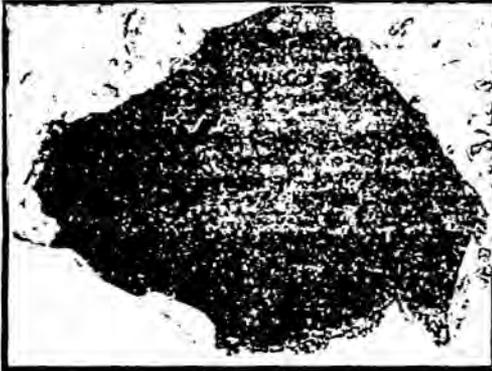


Foto N° 23

*Después del  
acondicionamiento*



Foto N° 24

### 4.3.4 PRUEBA DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO

Para la prueba de adsorción se utilizó una solución con una concentración de arsénico de 20 mg/L preparada

La prueba en línea se realizó en una botella de plástico de área regular a temperatura ambiente. A la botella se le puso algodón a la salida de la boquilla para que actuara como un filtro del lecho.

*Diámetro de la botella*

$$D_{botella} = 5.33 \text{ cm}$$

Foto ; 25

$$A_{botella} = \frac{5.33^2 \pi}{4} = 22.3 \text{ cm}^2$$

Foto N° 25



#### 4.3.5 PASOS PARA LA FILTRACION

Foto N° 26

Foto N° 27

1. El empackado consistió con un lecho de 55 g de zeolita acondicionada, con una altura de 4cm dentro de la botella

Fotos: 26 y 27



Foto N° 28

Foto N° 29

2. Se agrego una capa de arena activada de malla 250 de una altura de 1.3 cm dentro de la botella.

Fotos: 28 y 29

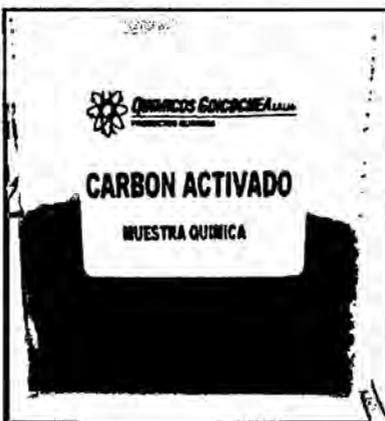


Foto N° 30

Foto N° 31

3. Luego se agrego una capa de 10 g de carbón activado.

Fotos ; 30 y 31



La altura dentro de la botella fue de 1.3 cm.

Foto N° 32



Foto N° 33



4. Finalmente se agrego una capa de piedra caliza chancada, para que la solución agregada se disperse uniformemente cm.

Fotos; 32 y 33

La altura dentro de la botella fue de 2.2 cm.

5. Se utilizo 200mL de la solución sintética de arsénico para que se filtre a través del lecho.

Fotos: 34 – 35 y 36

Foto N° 34



Foto N° 35



Foto N° 36



El tiempo de filtración de la solución en el lecho fue de 20 minutos para filtrar 160 ml 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 tratara la solución con mineral de bentonita para quitarle el color a la solución.

**Foto N° 37**



**Foto N° 38**



**6. Se agrego 5 gramos de bentonita a la solución filtrada, se agito y se dejo reposar para que sedimente la bentonita.**

**Fotos : 37 y 38**

Al final de 30 minutos la bentonita sedimentó y la solución quedó más clara

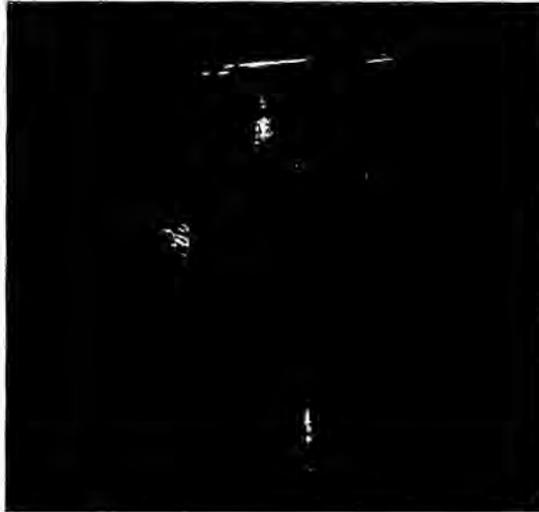
**Foto N° 39**



**Foto N° 40**



**Foto N° 41**



#### 4.3.6 CALCULOS

Tomamos lectura del volumen en un intervalo de tiempo para hallar el caudal de la filtración:

En 3 minutos se filtro 100 ml, entonces:

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

Hallando la velocidad de filtración

$$v = \frac{Q}{A_{\text{botella}}} = \frac{33.33 \text{ ml/min}}{22.3 \text{ cm}^2}$$

$$v = 1.49 \text{ cm/min}$$

Tiempo de residencia del liquido en el lecho de zeolita = altura de lecho / velocidad

$$t_{\text{residencia}} = \frac{4 \text{ cm}}{1.49 \text{ cm/min}}$$

Tiempo de residencia del agua en el lecho de zeolita

$$t_{residencia} = 2.67 \text{ minutos}$$

La solución final fue mandada a analizar por absorción atómica para determinar la eficiencia de adsorción de arsénico por la zeolita activada con cloruro férrico.

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

#### 4.3.7 METODO DE TRATAMIENTO CON ZEOLITA NATURAL

Se utilizó una zeolita natural, chabazita:  $(Ca_2 [(AlO_2)_4(SiO_2)_8] \cdot 12H_2O)$ ,. La zeolita se redujo de tamaño con una quebradora de quijada marca Le land Faraday de 170 X 135 mm, 5 HP y quebradora de cono de cabeza corta, marca General Electric, de 222 mm, de 1 HP. El producto se tamizó en una cribadora rotatoria portátil Rx-24; 80 % pasó por la malla #40 (0.424 mm) y 40 % quedó en la malla # 60 (0.24 mm). La caracterización se llevó a cabo por medio 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). En el Tabla II se presentan los resultados de dichos análisis.

**CUADRO II. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ZEOLITAS, NATURAL (ZSP) Y PRETRATADA (ZP)**

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

Fuente : fleridam@iq.uson.mx



#### 4.3.8 Preparación de la zeolita pretratada

a) Se preparó una solución de ácido clorhídrico (HCl) 2M, sobresaturada con óxido de magnesio (MgO) a 98 % en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Se separó la solución del exceso de MgO y se utilizó la solución para la preparación de la zeolita pretratada (ZP). Por otra parte, en otro matraz erlenmeyer de 250 mL se colocaron 10 g de zeolita natural (ZSP) y se mezclaron con 100 mL de la solución sobresaturada con MgO. Se dejó en agitación magnética por 20 horas. Después se filtró la mezcla y se secó en un horno a 110 °C. El diagrama experimental se muestra en la **figura 2**. El pretratamiento es sencillo y económico comparado con otros que requieren un proceso más complejo, como es el caso del estudio realizado por Gu *et al.* (2005).

#### b) Análisis de la zeolita natural y pretratada

Las muestras se examinaron con un microscopio electrónico de barrido (MEB) JEOL 5300, para observar la morfología y realizar el análisis de los elementos en varios puntos previamente seleccionados. Se utilizaron 8  $\mu\text{m}$  de distancia y voltaje de aceleración de 15 kV. El análisis de difracción de rayos-X se realizó con un difractómetro de rayos-X (D8-Advance), utilizando los siguientes parámetros:  $\lambda=1.52$ , 45 kV y 40 mA.

#### 4.3.9 Diseño de experimentos

Se siguió 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 expresada en la ecuación (1) es del modelo de MSR de segundo orden (Figueroa 2003):



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

donde  $e$  representa el ruido o error observado en la respuesta  $y$ .

En el cuadro III se observan los límites de los factores cuantitativos el diseño de experimentos realizados en el programa estadístico JMP IN 5.1 (SAS Institute Inc. 2004).

CUADRO III. FACTORES CUANTITATIVOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

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

Fuente : fleridam@iq.uson.mx

#### 4.3.10 Pruebas de adsorción.

Las soluciones de arsénico se prepararon con arsenato de sodio ( $\text{Na}_2\text{HAS}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 98 %) para obtener concentraciones iniciales de arsénico de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L. Se colocó la zeolita natural pretratada con un contenido en peso de 1, 5.5 y 10 g, respectivamente en tubos de plástico de 50 mL, con 25 mL de solución de arsenato de sodio a diversas concentraciones (0.05, 0.275 y 0.5 mg/L). La agitación de las muestras se mantuvo por 5, 32.5 y 60 minutos, a pH de 5, 7 y 9, el cual se ajustó con soluciones de  $\text{HNO}_3$  1M y  $\text{NaOH}$  1M, posteriormente, las muestras se filtraron con papel Whatman 41. El análisis de arsénico se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, con generador de hidruros, en un Perkin Elmer 2380 a una longitud de onda de 193.7 nm, de acuerdo al procedimiento señalado por la NOM-117-SSA1-1994 (SSA 1994).

#### 4.4 PARTE EXPERIMENTAL:

### METODO DE TRATAMIENTO DE ELIMINACION DE ARSENICO CON ZEOLITA NATURAL

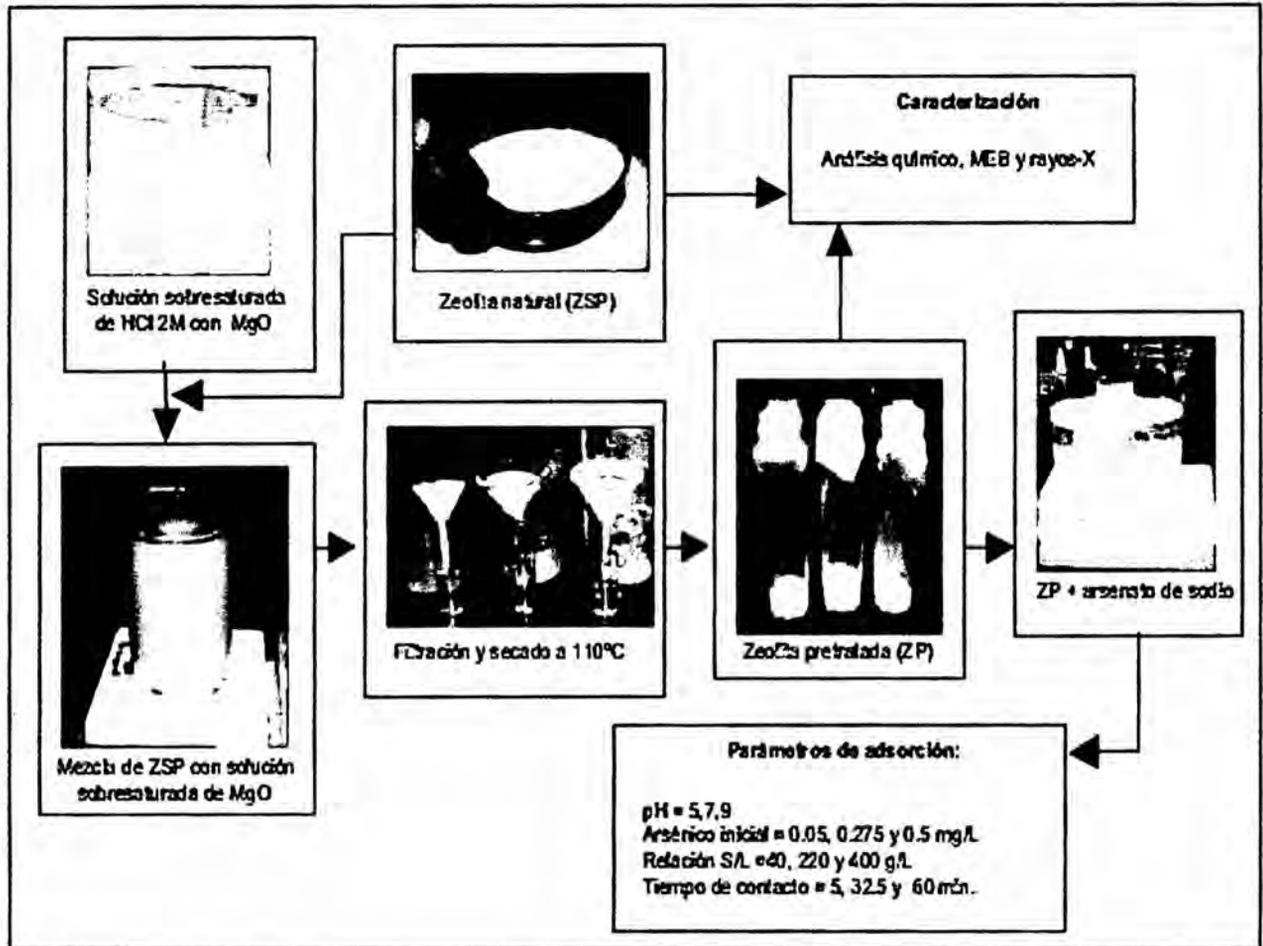


Fig. 2. Esquema de preparación de la zeolita pretreatada (Mejía 2008)

## V) RESULTADOS

- En referencia al grado de contaminación de las aguas naturales con arsénico que nos provee la naturaleza, así como también el crecimiento demográfico en nuestro medio genera la necesidad cada vez en mayor cantidad el consumo de agua potable, hay la necesidad de hacer el tratamiento de estas aguas contaminadas con arsénico para el consumo humano y las industrias. De acuerdo a las nuevas tecnologías modernas de tratamiento de aguas sobre todo el de ósmosis inversa, aplicar dicha técnica como eliminación total del arsénico.
  
- Existen diversos métodos para eliminar el arsénico de las diferentes clases de aguas, sobre todo para consumo humano, pero una de las alternativas es precisamente el tratamiento de estas aguas con zeolitas naturales ya que en la prueba realizada nos arroja una buena disminución en el contenido de arsénico.
  
- Se hicieron dos pruebas: el primero con zeolitas sintéticas que habiendo preparado una solución con agua destilada y polvo de arsénico puro en una concentración de 1,000 ppm, dándome un resultado de 7 ppm, hecho por espectrofotometría de absorción atómica.
  
- La segunda prueba se hizo con zeolita natural, en las mismas condiciones con una concentración en la solución de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L filtrándolo luego con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado , obteniendo de ésta manera de 2 a 3 ppm de arsénico también hecha por espectrofotometría de absorción atómica..



## V) RESULTADOS

- En referencia al grado de contaminación de las aguas naturales con arsénico que nos provee la naturaleza, así como también el crecimiento demográfico en nuestro medio genera la necesidad cada vez en mayor cantidad el consumo de agua potable, hay la necesidad de hacer el tratamiento de estas aguas contaminadas con arsénico para el consumo humano y las industrias. De acuerdo a las nuevas tecnologías modernas de tratamiento de aguas sobre todo el de ósmosis inversa, aplicar dicha técnica como eliminación total del arsénico.
- Existen diversos métodos para eliminar el arsénico de las diferentes clases de aguas, sobre todo para consumo humano, pero una de las alternativas es precisamente el tratamiento de estas aguas con zeolitas naturales ya que en la prueba realizada nos arroja una buena disminución en el contenido de arsénico.
- Se hicieron dos pruebas: el primero con zeolitas sintéticas que habiendo preparado una solución con agua destilada y polvo de arsénico puro en una concentración de 1,000 ppm, dándome un resultado de 7 ppm, hecho por espectrofotometría de absorción atómica.
- La segunda prueba se hizo con zeolita natural, en las mismas condiciones con una concentración en la solución de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L filtrándolo luego con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado , obteniendo de ésta manera de 2 a 3 ppm de arsénico también hecha por espectrofotometría de absorción atómica..



## **VI.- DISCUSION**

### **6.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS :**

- 6.1.1 De las pruebas realizadas, en primer lugar utilizando la zeolita sintética se ha obtenido un resultado satisfactorio, preparando una solución con agua destilada y polvo de arsénico puro hasta una concentración de 1,000 ppm dándome un resultado de 7 ppm, hecho por espectrofotometría de absorción atómica.
- 6.1.2 En la segunda parte se hizo con zeolita natural, en las mismas condiciones con una concentración en la solución de 0.05, 0.275 y 0.5 mg/L filtrándolo luego con un lecho de zeolita natural, arena activada y carbón activado , obteniendo de ésta manera de 2 a 3 ppm de arsénico también hecha por espectrofotometría de absorción atómica.
- 6.1.3 Para obtener un buen resultado es necesario contar con una buena granulometría del arsénico natural y combado con el carbón activado y la arena activada se puede inclusive mejorar la eliminación del arsénico.
- 6.1.4 Finalmente hay restos de arsénico en la muestra lo cual induce a utilizar la ósmosis inversa.

### **6.2. CONCLUSIONES:**

- 6.2.1 Es necesario utilizar equipos, materiales, reactivos de calidad, sobre todo los reactivos, para así tener un buen resultado.
- 6.2.2 En relación a los resultados se puede concluir qu 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.

**6.2.3** En conclusión la zeolita natural utilizada resultó más eficiente comparando con la zeolita sintética frente a la reducción del As (V) en la muestra de agua utilizada

### **6.3 RECOMENDACIONES :**

**6.3.1** Para obtener un buen resultado en la eliminación del As (V), es necesario tener presente contar con los siguientes materiales : carbón activado de cáscara de coco, arena activada, zeolita natural.

**6.3.2** Hacer la prueba con aguas de diferente procedencia para observar la eficiencia de eliminación, debido a que las aguas tienen diferentes contenidos de As sobre todo las aguas subterráneas.

**6.3.3** este método se puede aplicar a las aguas procedentes de minas, ya que durante los diferentes procesos de producción hay mucho contenido de Arsénico.

**6.3.4** como el As es un problema a nivel nacional y mundial, se debe continuar investigando acerca de la eliminación.



## **VII.- REFERENCIALES**

- 7.1 CEPIS/OPS “ Programa Regional HPE/OPS/CEPIS/de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Abril 1992 - Ing. José Pérez Carrión.**
- 7.2.- CRITES TCHOBANOGLIOUS RON.-Tratamiento de Aguas Residuales - - Mc Graw Hill – 2001.**
- 7.3. CURI, A., GRANDA , W. y SOUZA , W., “Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros” Información Tecnológica, 17, 6: 111-118, 2006.**
- 7.4 DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM- 127SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.**
- 7.5 DIAZ SANTOS “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales” 1999.**
- 7.6 LETTERMAN RAYMOND Calidad y Tratamiento del Agua - Manual de Suministros de Agua Comunitaria -American Water Works Association - - Mc Graw Hill Profesional 2002.**
- 7.7 LIPTROP, G. F. “Química Inorgánica Moderna”. Cia. Editora Continental S.A. 4ta. ed., México, 1983.**
- 7.8 MARTINEZ F.M. (1998). Contenido de arsénico en el agua subterránea de la zona minera de San Antonio, Baja California Sur. Relación con los yacimientos minerales y obras mineras. Tesis Profesional. Departamento de Geología Marina, U.A.B.C.S. La Paz, B.C.S. México Inédita, 63 pág.**



- 7.9 RIVERA HUERTA, M. y PIÑA SOBERANI, M., "Tratamiento de agua por adsorción sobre zeolita natural acondicionada", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2004.
- 7.10 RODRIGUEZ FUENTES, G. y RODRIGUEZ IZNAGA, "Eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales", Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas, IMRE Universidad de La Habana, 2002.
- 7.11 UNDA FRANCISCO O.- Teoría y Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Departamento de Publicaciones de la Universidad Católica de Chile- 1963.

#### INTERNET

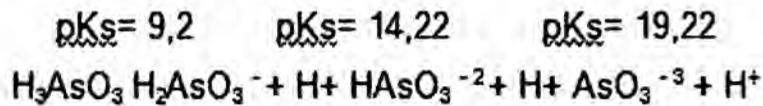
- <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/mexico13/008.pdf>
- <http://portal.unesco.org/es/ev.php>
- <http://www.lenntech.com/espanol/Desalacion/desalacion.htm>
- <http://www.unitek.com.ar/aplicaciones-aguademar.php>
- [http://www.resa-bcn.com/mnu/sp/desalacion\\_sp.htm](http://www.resa-bcn.com/mnu/sp/desalacion_sp.htm)
- [http://www.aquaperu.net/plantas\\_de\\_tratamiento\\_de\\_agua.htm](http://www.aquaperu.net/plantas_de_tratamiento_de_agua.htm)



## VIII APENDICE

### 8.1 LA ESTRUCTURA MOLECULAR DE ARSENATOS (AS<sup>+5</sup>) Y ARSENITOS (AS<sup>+3</sup>)

Como resultado de la disociación del ácido arsenioso característico en aguas subterráneas con pH mayor de 7, el arsénico se ~~pueden~~ presentar en alguna de las siguientes formas:



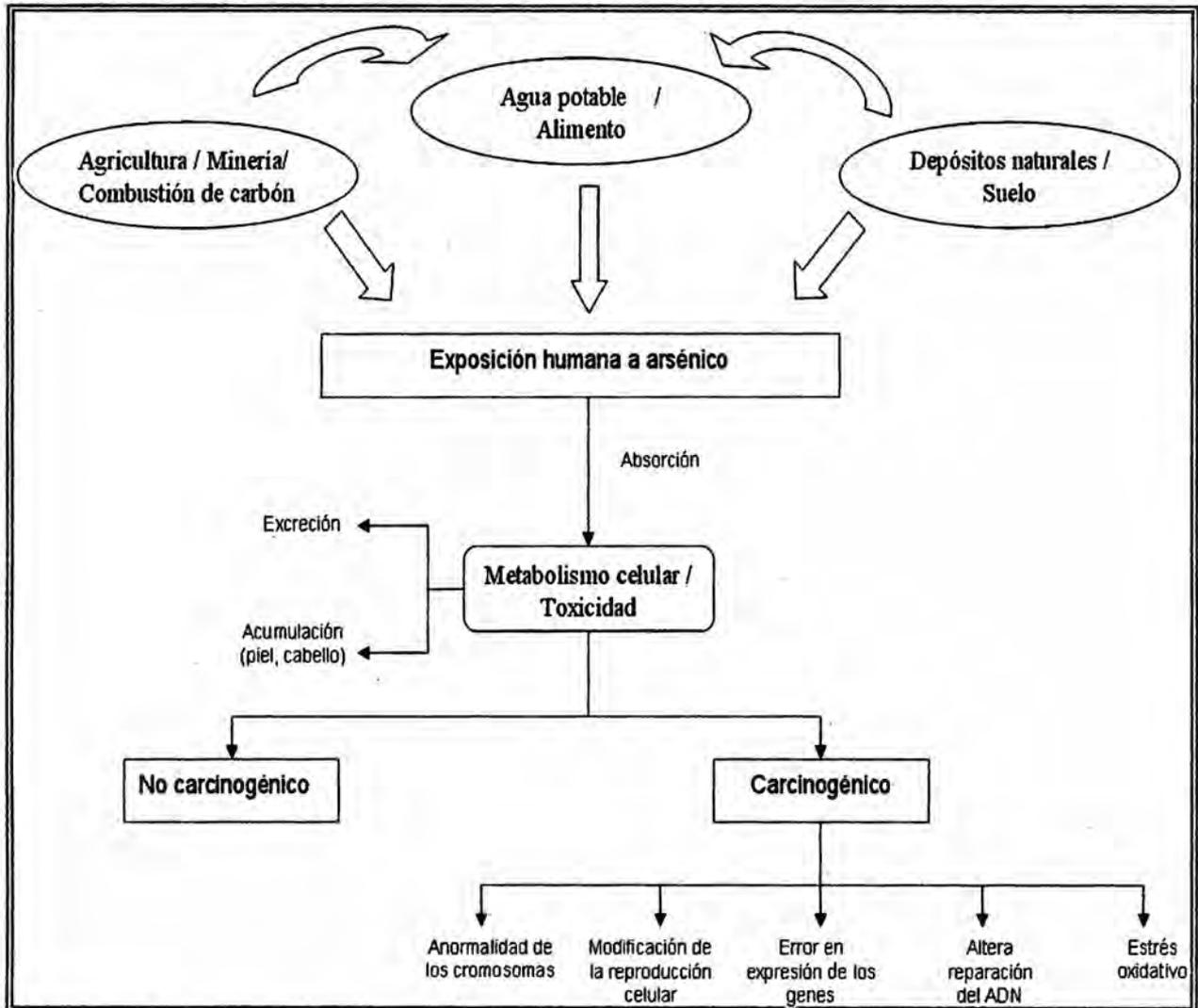
Bajo condiciones ~~anóxicas~~, aún a pH por encima de 7 el arsénico se estabiliza en especies dominantes no iónicas.

Los ~~arsenatos~~ y arsenitos se disocian a un pH muy diferente. En un rango de pH entre 6,5 y 8,5 característico del agua natural, las formas predominantes de ~~arsenato~~ y arsenitos son:  $H_2AsO_4^-$ ,  $HAsO_4^{2-}$ , y  $H_2AsO_3^-$ .

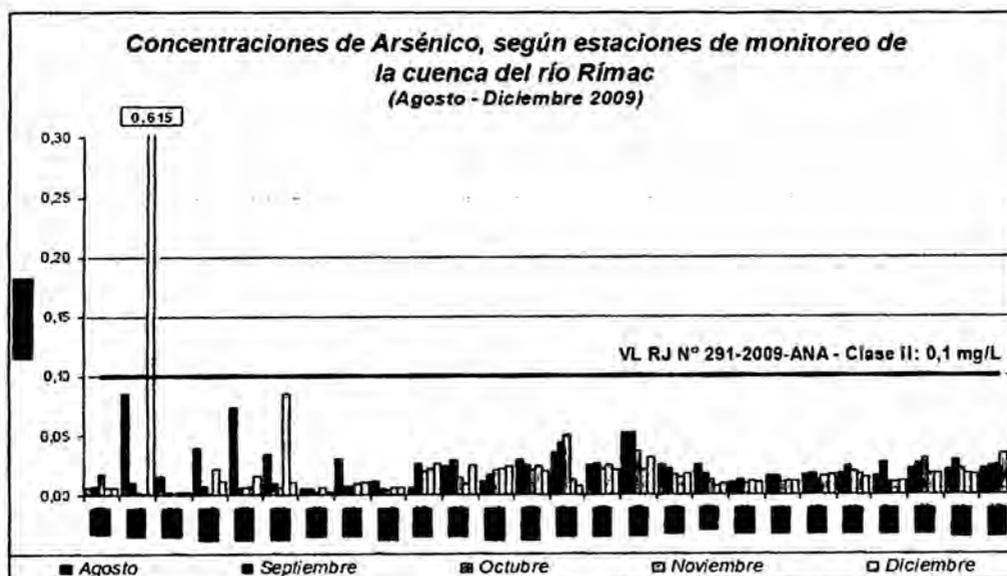
La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los ~~arsenatos~~ y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La concentración del arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local.



## 8.2 TOXICIDAD;



### 8.3 CONCENTRACIONES DE ARSENICO, SEGUN ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CUENCA DEL RIO RIMAC



De los resultados obtenidos en el monitoreo de la cuenca del río Rímac, se encontró que la concentración promedio de arsénico es 0,02 mg/L; así como, se observan altas concentraciones de arsénico en las estaciones E-1A, E-2A, E-2B y E-2C, ubicadas en la cuenca alta y aguas abajo de zonas con desarrollo de la minería.

### 8.4 ESTACIONES DE MONITOREO

#### ESTACIONES DE MONITOREO

Código de Estación	Descripción de las estaciones de monitoreo	UTM Norte	UTM Este	Altitud
E-01	Bocatoma laguna Ticticocha, Carretera Central km 127	8716576	0368956	4650
E-1A	Río Rímac, 100 m aguas abajo de la quebrada del efuyente Volcan	8716226	0369249	4565
E-02	Río Chinchán, puente Ferrocarril, Carretera Central km 119,5	8715052	0365360	4352
E-2A	Río Rímac, después del vertimiento de la Minera Los Quenuales	8711776	0365229	4170
E-2B	Río Rímac, después del vertimiento de la Compañía Minera Casapalca	8711490	0364986	4161
E-2C	Río Rímac, 150 m aguas abajo de minera PERUBAR - Rosaura	8711520	365028	4154
E-03	Río Blanco, Estación Meteorológica SENAMHI, Carretera Central km 101	8702497	0362766	3530

## 8.5 POBLACION QUE BEBE AGUA CON ARSENICO



## 8.6 TECNOLOGÍAS PARA LA ELIMINACIÓN DEL ARSÉNICO

### 8.6.1 Coagulación – Filtración :

Es un proceso de tratamiento por el cual las cargas eléctricas de las sustancias coloidales disueltas o suspendidas son neutralizadas con la adición de sustancias insolubles en el agua, lo que permite la formación de partículas mayores o aglomeradas que pueden ser eliminadas por sedimentación o filtración.

El tipo y la dosis del coagulante y el pH influyen en la eficiencia del proceso. Algunos de los coagulantes empleados es el sulfato férrico y el sulfato de aluminio.

### 8.6.2 Alúmina Activada:

Es un tipo de intercambio iónico, donde los iones presentes en el agua son adsorbidos por la superficie oxidada de la alúmina activa.

Es altamente selectiva para remover el  $As^{+5}$  y efectiva para tratar agua con alto contenido de sólidos disueltos totales. En la superficie de adsorción de la alúmina activada pueden interferir el selenio, fluoruro, cloruro y sulfato. Este método tiene alta remoción de arsénico a pH 8,2. La alúmina activada adsorbe preferentemente  $H_2SO_4$  ( $As^{+5}$ ) más que  $H_3AsO_3(As^{+3})$

### **8.6.3 OSMOSIS INVERSA:**

Es un proceso para eliminar las sustancias disueltas presentes en el agua, forzando la circulación del agua por una membrana semipermeable bajo una presión superior a la osmótica.

Tiene una eficiencia de más de 95 % de remoción de arsénico disuelto. Este método es efectivo para remover arsénico de aguas subterráneas. El rendimiento del proceso con ósmosis inversa es afectado principalmente por la turbiedad, hierro magnesio y sílice.

### **8.6.4 Intercambio Iónico:**

Es un proceso físico y químico, en el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio (resina) por otros iones que encuentran en solución. Las consideraciones que se tiene en este proceso comprenden el pH, iones competitivos, tipo de resina, alcalinidad, concentración de arsénico en el afluente, disposición de la resina y los regenerantes usados, efectos secundarios de la calidad del agua y los parámetros de diseño de la calidad del agua y los parámetros de diseño de la operación.



### **8.6.5 Ablandamiento con cal**

Es un método usado para remover la dureza del agua y consiste en adicionar cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) al agua. Este método es efectivo para remover  $\text{As}^{+3}$  o  $\text{As}^{+5}$  y la eficiencia de la remoción está en función del pH. Este método tiene un alto rendimiento para remover concentraciones de arsénico de 50  $\mu\text{g/L}$ ; sin embargo para reducir a 1  $\mu\text{g/L}$  se necesita de un tratamiento secundario. La remoción de  $\text{As}^{+5}$  es mayor al 90 % a un pH de 10.5 o más, siendo el pH óptimo de operación mayor que 10.5 . En el sistema de ablandamiento con cal se produce una considerable cantidad de lodo.

### **8.6.6 Usando luz solar y aire**

Investigadores australianos desarrollaron un método simple para eliminar el arsénico del agua potable usando únicamente la luz solar y aire ( Yong, 1996). La radiación ultravioleta de la luz solar cataliza la oxidación del arsénico a la forma menos tóxica, la cual puede ser precipitada en forma de arsenato férrico y posteriormente eliminada.

### **8.6.7 Aplicando electrotratamiento:**

Este método permite la removilización del arsénico disuelto en el agua por medio de electrodos de hierro que propician la adsorción de los iones presentes en este elemento. Los experimentos realizados con este método permiten obtener eficacias superiores al 90 % .



La ventaja con la que parece contar este método es que no requiere variar las condiciones iniciales de pH ni que no se produce un cambio brusco de las mismas al finalizar el proceso.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive letter 'E' followed by a long horizontal stroke extending to the right.

## ANEXOS

### 1.- POTABILIZAR EL AGUA DE MAR AGRAVA EL CALENTAMIENTO GLOBAL

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) alertó de que la creciente tendencia a potabilizar el agua de los mares es “una amenaza potencial para el medioambiente que podría agravar el cambio climático”.



Fuente : Programa Mundial para el Agua Dulce del WWF, Jamie Pittock.

El informe “Haciendo agua, desalinización: ¿opción o distracción para un mundo sediento?”, divulgado en Ginebra, muestra cómo en las regiones más secas del mundo se recurre a la desalinización para obtener agua dulce. Ello ocurre concretamente en países como España, Australia, Reino Unido y Estados Unidos y, en menor medida, en India y China, donde los recursos naturales están mal gestionados o son insuficientes para abastecer a zonas densamente pobladas.

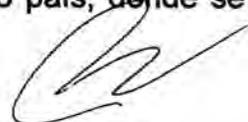
La organización ecologista calcula que las plantas desalinizadoras cubren 60% de las necesidades de agua potable en el golfo Pérsico y un tercio en la ciudad australiana de Perth, al tiempo que asegura que España es el país del mundo que más agua desalada destina a la actividad agrícola (22%). Pero “desalinizar el de Marzo es una forma cara y de gran costo energético de conseguir agua” indicó el director del Programa Mundial para el Agua Dulce del WWF, Jamie Pittock.

El estudio sostiene que el incremento de los residuos salados, de la emisión de gases invernaderos y la destrucción de la costa son algunos de los efectos que tiene la desalinización del agua del mar en el medioambiente. Aunque Pittock cree que ese sistema puede ser una solución en un futuro, aseguró que “los países todavía tienen maneras más baratas y menos peligrosas para el medioambiente” de abastecer de agua a sus poblaciones.

Para disponer de recursos hídricos sostenibles es necesario proteger los recursos naturales, como ríos y humedales, porque purifican y suministran agua, al tiempo que protegen el entorno ante catástrofes naturales, apunta la organización ecologista. El estudio considera necesario gestionar correctamente el agua dulce y analizar el impacto de cualquier gran obra de ingeniería para prevenir los daños irreparables que pueda sufrir la naturaleza, así como el costo que a largo plazo recae en los consumidores. “Los efectos negativos de cada obra de ingeniería, como las grandes presas construidas en los años 50, se conocen cuando es demasiado tarde o caro para arreglarlo”, afirmó el representante del WWF.

## **2. PREOCUPANTE DIAGNÓSTICO SOBRE EL AGUA EN EL PERÚ**

La crisis del agua a nivel mundial, la gestión del recurso hídrico y el papel que deben cumplir el Estado, el empresariado y el usuario quedaron plasmados en el foro “Liderazgo impostergable en la gestión del recurso hídrico en el Perú”, organizado por el Comité de Desarrollo Sostenible de la Cámara de Comercio Americana del Perú (AmCham) y Amanco Perú. Se trataron temas como el Desarrollo del Perú en el Marco de la Gestión del Agua, a cargo de Fernando Cilloniz, Gerente General de la Asociación Civil Inform@cción, además de La Problemática del Agua en el Agro Peruano, por Abelardo De la Torre, Consultor de INRENA. De la Torre ofreció un preocupante diagnóstico sobre el recurso hídrico en nuestro país, donde se



indicó que los ríos de la vertiente del Pacífico, donde se asienta el 70% de la población peruana, descargan 1,8 % del total nacional, del cual sólo se aprovecha un 47%. Enfatizó que los problemas fundamentales de la gestión del agua en el Perú comprenden las incoherencias e incompatibilidades en la legislación vigente y la falta de una normatividad transectorial de gestión, lo que dispersa y debilita a la autoridad de agua. Recalcó la debilidad técnica y legal de la Autoridad Nacional del Agua. El especialista propuso que, para la gestión del agua, era necesaria la formación de capacidades en Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), crear la autoridad de Aguas Multisectorial a nivel nacional y capacitar funcionarios responsables en la toma de decisiones técnico normativas de nivel nacional y especialistas en GIRH. Por su parte, Guido Bocchio, representante del Confiep, en su presentación Ley de Aguas en el Perú, ofreció el marco legal acerca de toda la legislación existente sobre el recurso hídrico y la importancia de la participación de todos los sectores en una Nueva Ley de Aguas que está en el seno del Congreso en pleno debate.

### **3. PROYECTO DE LEY DE AGUAS EN EL PERU**

Mediante Decreto Supremo No. 122-2002-PCM, de fecha 5 de diciembre del 2002, se creó la Comisión Técnica Multisectorial encargada de elaborar un Proyecto de Ley de Aguas a ser concertado con todos los sectores involucrados en el uso del agua. La Comisión se instaló el 10 de enero del 2003 y luego de cuatro meses de trabajo ha considerado de vital importancia la prepublicación de este proyecto y poder así recibir los aportes y comentarios de la ciudadanía.



La Comisión decidió utilizar el anteproyecto de Ley de Aguas prepublicado el 26 de julio del 2001 como base inicial del trabajo de una Secretaría Técnica que ha venido elaborando el proyecto. Además, se acordó que el proyecto incorporaría explícitamente principios y lineamientos de política para el manejo sostenible del agua.

Para la elaboración de este proyecto de Ley de Aguas se han tenido en cuenta las siguientes normas generales: La Constitución Política del Perú; la Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales; la Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales; la Ley Marco de Modernización de Gestión del Estado; el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, así como normas sectoriales.

La Constitución señala en el artículo 66° lo siguiente: "Los recursos naturales son Patrimonio de la Nación y el Estado es soberano en su aprovechamiento, fijándose por Ley Orgánica las condiciones de su aprovechamiento."

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'G' followed by a long, sweeping horizontal stroke that extends to the right.